

Laval théologique et philosophique



Le hasard et la sélection expliquent-ils l'évolution ? Biologie ou métaphysique

Roger Payot, Janine Flatin, Michel Delsol, Régis Ladous et Philippe Sentis

Volume 50, numéro 1, février 1994

La théorie synthétique de l'évolution

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/400815ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/400815ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Faculté de philosophie, Université Laval

ISSN

0023-9054 (imprimé)

1703-8804 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Payot, R., Flatin, J., Delsol, M., Ladous, R. & Sentis, P. (1994). Le hasard et la sélection expliquent-ils l'évolution ? Biologie ou métaphysique. *Laval théologique et philosophique*, 50(1), 7–41. <https://doi.org/10.7202/400815ar>

LE HASARD ET LA SÉLECTION EXPLIQUENT-ILS L'ÉVOLUTION ? BIOLOGIE OU MÉTAPHYSIQUE

Michel DELSOL, Philippe SENTIS
Roger PAYOT, Régis LADOUS, Janine FLATIN

RÉSUMÉ : Le but de cet article est double. Il souhaite d'abord informer certains spiritualistes qui, s'intéressant à l'évolution, voudraient aujourd'hui encore intégrer dans l'histoire de la vie des forces ou des poussées dirigées par une intelligence extérieure à la matière et dans laquelle ils aimeraient reconnaître l'action directe et finalisée d'un créateur. Cet article veut donc montrer que l'homme de science, demeurant strictement dans le cadre de la réflexion scientifique, n'en a pas besoin pour expliquer l'évolution. Le mécanisme évolutif que nous allons résumer ici correspond à celui qui est proposé par la théorie synthétique et il peut expliquer le fait de l'évolution.

Cependant, les biologistes qui soutiennent les thèses que nous allons résumer sur le rôle du hasard et de la sélection dans l'évolution ne sont pas obligés pour autant de rejeter la métaphysique et, sur ce point, ils sont souvent mal compris. Cet article veut donc aussi montrer qu'il n'y a aucune opposition entre ces positions scientifiques et une conception spiritualiste de l'univers. Nous voulons en somme insister sur le fait que toute réflexion sur le monde qui se voudrait totale doit correspondre à deux discours : un discours scientifique et un discours philosophique ou métaphysique.

Le titre de ce travail a été volontairement choisi pour choquer. Le hasard est un terme chargé d'ambiguïté ; il peut servir à évoquer les jeux de Las Vegas ou de Monte-Carlo aussi bien que n'importe quel événement inattendu alors que, pour certains biologistes, il correspond à un élément explicatif capital dans l'évolution du monde vivant.

Cependant, nombre de scientifiques — y compris les transformistes les plus convaincus — ont souvent eu de la peine à croire que ce phénomène, lié à celui de la sélection, ait pu provoquer la constitution de tous les organes de l'être vivant, notamment de certains ensembles d'une grande complexité, tels que l'œil et les cellules cérébrales qui lui sont liées.

Dans ce texte, nous voulons nous expliquer sur ce point. Nous allons notamment essayer de résumer les raisons pour lesquelles beaucoup de spécialistes de l'évolution peuvent parfaitement admettre aujourd'hui que le jeu mutation/sélection — qui est justement dominé par le hasard — suffit pour expliquer les constructions du monde vivant. Nous montrerons que cette opinion n'élimine nullement les problèmes métaphysiques qui se posent à l'homme depuis toujours : le hasard permet une explication au niveau scientifique mais cette explication ne relève pas du domaine de la métaphysique¹.

Notre exposé sera donc divisé en quatre parties : évolution biologique et théorie synthétique — le hasard et les lois — l'histoire de la construction de l'œil par le jeu du hasard et de la sélection — science et métaphysique.

I. ÉVOLUTION BIOLOGIQUE ET THÉORIE SYNTHÉTIQUE

Dans toute discussion sur l'évolution biologique, il convient de distinguer les faits et les mécanismes.

Les faits ont été depuis longtemps mis en évidence par les observations des zoologistes, des botanistes, des paléontologistes et des autres naturalistes en général. Ces observations nous apportent la quasi-certitude que les espèces vivantes se sont constituées par étapes successives suivant un schéma qui ressemble de façon évidente à celui de l'histoire de l'homme. Ainsi certaines espèces sont restées stables pendant des dizaines de millions d'années, tandis que d'autres ont donné des lignées évolutives qui ont connu de très grands changements, parfois très vite, parfois très lentement. Les observations des naturalistes nous ont, en quelque sorte, permis d'établir l'histoire des êtres vivants grâce à des méthodes qui ressemblent à celles des historiens lorsqu'ils établissent des généalogies ou retracent l'histoire des peuples.

Les théories relatives aux mécanismes de l'évolution ont pour but de nous faire comprendre les « causes » de cette évolution². Depuis les origines du transformisme, on a proposé essentiellement trois grandes théories : lamarckisme, darwinisme, théorie synthétique. Cette dernière est la fille du darwinisme classique ; elle a pris en compte les données de la génétique mendélienne. On peut dire que la théorie de Darwin correspondait à la peinture d'un impressionniste ou d'un tachiste et que les synthéticiens en ont fait un dessin coté d'architecte en lui apportant de nombreuses précisions.

1. Nous croyons utile de donner encore quelques précisions au début de ce travail. Nous voulons insister sur le fait que ce texte est le fruit des réflexions d'une équipe interdisciplinaire et qu'il a fait l'objet de conférences destinées à un public non spécialisé mais composé en grande partie de scientifiques et de philosophes ; nous avons voulu lui conserver l'aspect général de telles interventions. Il sera repris et développé dans un ouvrage en préparation sur l'épistémologie de la théorie synthétique à paraître dans la collection « Science-Histoire-Philosophie ». Par ailleurs, certains concepts ont été traités assez schématiquement dans cet article car ils avaient fait l'objet de larges discussions dans un ouvrage publié en 1985 par M. DELSOL sous le titre de *Cause, loi, hasard en biologie*, Paris, Vrin ; Lyon, Institut Interdisciplinaire d'Études Épistémologiques (I.É.É.).

2. Nous employons le mot « cause » au sens des scientifiques, c'est-à-dire, suivant l'expression de Bonsack, au sens de « facteur déterminant » : nous n'ignorons nullement que ce terme a un sens fort différent en philosophie.

Contrairement à ce que l'on dit parfois, la théorie synthétique n'est pas seulement une théorie de généticiens ; c'est une théorie plus large qui compare les données de la génétique avec celles des naturalistes. Pour l'assimiler, il faut donc s'efforcer d'étudier la nature telle que nous la décrivent les paléontologistes, les zoologistes, les botanistes, les éthologistes depuis plus d'un siècle et, plus récemment, les généticiens. Ce double regard permet de dire que les rythmes suggérés par l'étude des classifications et des phylogénèses « s'engrènent » parfaitement avec les rythmes proposés par la génétique. La nature ressemble à une roue dentée que l'on voit tourner — c'est le fait de l'évolution — et l'on est en droit de supposer que cette roue est liée à une autre roue dentée qui correspond aux modifications de l'hérédité et à la sélection.

Une bonne connaissance de la théorie synthétique impose donc ce double regard à celui qui veut en saisir l'ampleur. C'est ce que beaucoup ont oublié et c'est là sans doute l'une des raisons du flot de critiques qui s'abat depuis vingt à trente ans sur les idées des synthéticiens. Un spécialiste de la théorie synthétique devrait être à la fois naturaliste — c'est-à-dire zoologiste, botaniste, paléontologiste, etc. — et aussi généticien. Il y a une trentaine d'années, les premiers synthéticiens tentèrent d'assimiler des données aussi diverses ; mais, étant donné l'ampleur des connaissances actuelles, il est devenu pratiquement impossible qu'un même individu puisse aborder en même temps tous ces problèmes : il doit alors travailler soit comme naturaliste, soit comme généticien, et se tenir informé, par la bibliographie, de l'avancement des recherches dans les autres domaines.

Cette technique du double regard se reconnaît fort bien par exemple dans le plan d'un des premiers ouvrages généraux sur la théorie synthétique : *Tempo and Mode in Evolution* (1944) du paléontologiste Simpson. Dans la première partie, l'auteur analyse les données de la génétique des populations et, dans la deuxième, il décrit l'image du monde vivant que lui a fournie la paléontologie, sa discipline première. Tout exposé sur la théorie synthétique devrait comporter ces deux volets, suivant un schéma allant des données de la nature aux données de la génétique, ou inversement.

Dans cette première partie, nous allons — en suivant ce plan — donner un résumé des idées des synthéticiens. Nous montrerons d'abord que les observations des naturalistes sur le monde vivant laissent penser que tout s'y est construit par des processus qui suggèrent le rôle du hasard. Ensuite, nous essayerons de résumer les thèses des généticiens qui expliquent ces observations et nous rencontrerons encore le rôle du hasard.

Pour compléter cette analyse, nous présentons un tableau destiné à un ouvrage en préparation dans lequel les propositions principales de la génétique sont reliées par des flèches aux propositions correspondantes des naturalistes (tableau 1, page 10).

Les propositions de la Théorie Synthétique : un double regard sur la nature

Observations de la nature Concepts descriptifs			Génétique classique des populations Concepts explicatifs		
Discipline exacte d'où est tirée la proposition	Proposition	N°	N°	Proposition	Discipline exacte d'où est tirée la proposition
• Sciences naturelles : zoologie, botanique, paléontologie	• l'existence d'espèces • les phylogénèses et leurs caractères • adaptation	I	IX	• génétique formelle et théorie chromosomique • dogme central • cytologie de la constitution des espèces • concept du pool de gènes	• génétique formelle • cytologie et fonction de reproduction
• Sciences naturelles : (id.)	• gradualisme phylétique • hybridisme dans la nature et en laboratoire • critère objectif de l'espèce ? • micro-, macro-évolution	II	X	• les mutations : source réelle de la nouveauté	
• Sciences naturelles : (id.)	• considérable capacité de reproduction de chaque couple	III	XI	• capacité de reproduction et sélection - variabilité nécessaire • preuves de la sélection • caractères de la sélection	
• Sciences naturelles : (id.) • dynamique des populations • écologie	• Nombre considérable d'espèces et de sous-espèces, chacune occupant une seule niche écologique	IV	XII	• la famille de la sélection naturelle • sélection conservatrice - sexuelle - parentèle - multiniches	
• Sciences naturelles : (id.)	• polymorphisme des espèces	V	XIII	• anagenèse et cladogenèse • les modifications du pool de gènes	
• zoologie • anatomie comparée • paléontologie	• pas de différences caractéristiques entre micro-, macro- et méga-évolution	VI	XIV	• polymorphisme du génome et hypothèses explicatives	
• géologie et paléontologie • géographie zoologique	• variation de vitesse lors du passage d'une espèce à l'autre et d'une période d'une lignée à l'autre	VII	XV	• particularité et importance de l'évolution dans les petites populations • évolution sans sélection • dérives - effets fondateurs • révolution génétique	
• embryologie comparée	• relations entre l'embryogenèse et l'évolution : palingénèse, hétérochronie, etc.	VIII	XVI	• micro-, macro- et méga-évolution • liaisons ténues entre hauts taxa • préadaptation • co-évolution, etc.	
<p>Les propositions de la théorie synthétique et leurs principales relations sont indiquées par des flèches.</p> <p>Précisons bien que ces flèches correspondent aux liens les plus caractéristiques entre ces diverses propositions car on pourrait presque dire que tout est relié à tout. On remarquera d'ailleurs que, dans certains cas, nous avons ajouté un faisceau signifiant que les thèses de la proposition concernée sont reliées à toutes les autres.</p> <p>Il est évident que ces flèches partent toutes dans le même sens - de la génétique vers les observations de la nature - car les processus génétiques décrits expliquent les phénomènes naturels observés. Cependant, pour la proposition XVIII qui souligne le rôle du hasard dans l'évolution, le faisceau est plus ouvert car ce rôle du hasard s'observe aussi bien dans les données de la nature qu'au niveau génétique.</p>			XVII	• le rôle du milieu dans la théorie synthétique	
			XVIII	• un hasard omniprésent mais presque toujours canalisé	
			XIX	• Exceptions connues ou possibles à la théorie	
			XX	• Limites de la théorie	
					Génétique des Populations et Épistémologie

Avant de continuer cette analyse, quelques précisions nous paraissent utiles sur les critiques qui sont adressées aujourd'hui à la théorie synthétique.

Nous n'ignorons nullement, en effet, en écrivant ces lignes que quelques auteurs rejettent aujourd'hui la théorie dont nous allons schématiser les données essentielles.

La théorie synthétique, comme nous allons l'expliquer, est immensément complexe ; on a dit, à juste titre, que c'était une véritable nébuleuse. Autour d'un noyau simple, elle est composée d'un nombre important de théories accessoires qui s'appuient l'une sur l'autre sans toutefois constituer de tautologie, comme on l'a parfois prétendu. Sa complexité est en fait à l'image de la matière vivante et de nos phylogénèses.

Il y a très longtemps déjà, Mayr avait attiré l'attention sur la complexité des problèmes relatifs au transformisme et critiqué certains auteurs qui avaient mené un peu trop vite leur analyse. Il écrivait alors :

La génétique, la morphologie, la biogéographie, la systématique, la paléontologie, l'embryologie, la physiologie, l'écologie et autres domaines de la biologie ont contribué ensemble à clarifier certains aspects particuliers de l'évolution et ont concouru ensemble à fournir les explications souhaitées là où des disciplines particulières et isolées avaient fait faillite. Chacun peut devenir un maître dans de nombreuses branches de la biologie même si ses connaissances sont essentiellement confinées à un domaine excessivement étroit. Cela est impensable en biologie évolutionniste. Un spécialiste peut contribuer valablement à certains de ses aspects particuliers, mais seul celui qui est suffisamment au courant des domaines de la biologie qui viennent d'être cités aura la possibilité de présenter une image équilibrée de l'ensemble de l'évolution. Chaque fois qu'un scientifique étroitement spécialisé s'est essayé à une nouvelle théorie de l'évolution, il est allé à un échec³.

Aujourd'hui, il semble bien qu'en règle générale ceux qui critiquent la théorie synthétique ne l'ont pas suffisamment étudiée dans toute sa complexité ; ils n'en connaissent que la caricature et c'est cette dernière qu'ils critiquent.

Aux États-Unis, où les chercheurs ont l'habitude de polémiquer plus énergiquement que chez nous avec ceux dont ils dénoncent les attitudes ou les idées, certains n'ont pas hésité à lancer des réponses très dures à des auteurs qui avaient parlé trop vite. En voici deux exemples.

Dans un numéro de la revue *Evolution*⁴, Charlesworth, Lande et Slatkin écrivent :

We have also demonstrated, as has Orsack (1981), that punctuationists have often severely distorted the neo-Darwinian theory of evolution. Punctuationists are mainly criticizing oversimplified versions of neo-Darwinism (which are currently popular in some fields) rather than the original statements of this theory and the evidence

3. E. MAYR, *Populations, espèces et évolution*, Paris, Hermann, 1974, p. 3.

4. CHARLESWORTH, LANDE et SLATKIN, *Evolution*, 3 (1982), p. 474.

which has been used to support it. Furthermore, some of the genetic mechanisms that have been proposed to explain the abrupt appearance and prolonged stasis of many fossil species are conspicuously lacking in empirical support. Thus, we do not feel logically compelled to abandon neo-Darwinism in favor of the theory of punctuated equilibria.

Et dans la critique intitulée : « Waiting for post-neo-Darwin » de l'ouvrage de J.W. Pollard, *Evolutionary Theory : Paths into the Future*, l'analyste du numéro de juillet de la même revue *Evolution*⁵ n'hésite pas à écrire :

Since I have many disagreements with the theories presented in this volume, one might expect me to dislike it and not recommend it. When I started to review this book, that is what I expected to conclude. To an audience uninformed about neo-Darwinian theory, this volume could do harm, as the caricature of neo-Darwinism too often is substituted for the actual theory, and the alternatives are frequently presented unclearly, even slyly. But an audience familiar with neo-Darwinism will find it an enormously stimulating package, concisely stated, outrageous but therefore rarely dull. Every neo-Darwinian could benefit from reading it. It stimulates thought, and that cannot be harmful. As we are left at the end still waiting for a post-neo-Darwinian theory that has not appeared, I suspect that this book will make few converts. The « Paths Into the Future » lead us around and back to where we started, but the trip is worth it.

Ces textes sont clairs. Actuellement, il est impossible de discuter de la théorie synthétique sans l'avoir longuement étudiée ; or le nombre de travaux à consulter est considérable : la théorie synthétique est presque devenue une spécialité en soi. Mais, comme on peut la simplifier à l'extrême, tout le monde se croit autorisé à en parler. Il en fut de même quand on mit en évidence les phénomènes de l'évolution.

1. *Premier regard sur la nature : les observations des naturalistes.
Images de phylogénèses en « buisson »*

Depuis longtemps déjà, zoologistes et botanistes ont su, comme la connaissance commune, voir dans la nature des ensembles bien caractérisés qu'ils ont nommés « espèces » — les chats ou les lièvres, par exemple — et des ensembles plus vastes — mammifères, insectes, mollusques — regroupant chacun des milliers d'espèces. Mais depuis deux siècles, en essayant de mieux classer les êtres vivants, on a constaté qu'il existait un nombre fabuleux d'espèces, de sous-espèces, de variétés. Aujourd'hui où environ deux millions d'espèces ont été dénombrées, nous n'avons pas encore d'ouvrage qui en donne la liste complète : de tels documents existent pour certains groupes zoologiques et pour la botanique, mais il y a beaucoup moins d'espèces végétales que d'espèces animales, et la rédaction d'une faune mondiale qui se voudrait exhaustive représenterait un ouvrage fabuleux. Ce travail a été entrepris par *Faune de France* dont l'ensemble des volumes couvrent déjà près d'un mètre sur les rayons

5. « Waiting for post-neo-Darwin », *Evolution*, 4 (1986), p. 883.

d'une bibliothèque ; et tout n'est pas encore paru. Le *Traité de zoologie* de Pierre-Paul Grassé, lui aussi en cours d'achèvement, décrit surtout l'anatomie comparée des êtres vivants ; il représentera plus de quarante fascicules de mille pages chacun en moyenne, et aura nécessité la collaboration de près de 300 auteurs.

Dans l'immense collection des vivants que nous connaissons aujourd'hui, on découvre des séries qui, de toute évidence, se suivent morphologiquement ; certains tritons, par exemple, sont si proches que l'on passe de l'un à l'autre par une série de très petits changements.

Pour définir les espèces, on a cru pendant longtemps que le critère de l'interfécondité était le meilleur ; on pensait que les sujets d'une espèce se croisaient entre eux et ne pouvaient le faire avec les sujets d'une autre espèce. On pensait aussi que si d'aventure de tels croisements se réalisaient, ils ne donneraient que des sujets stériles. Depuis moins d'un siècle, on a repris l'analyse de ce problème. Il est maintenant établi que les hybridations entre ces unités que sont les espèces sont assez fréquentes dans la nature comme en laboratoire ; on a aussi constaté que, si ces hybridations donnent souvent des descendants stériles, dans un nombre non négligeable de cas elles donnent aussi des descendants fertiles ; qui plus est, on a observé tous les intermédiaires entre la fertilité parfaite et l'infertilité totale. En outre, on a l'impression que certains passages tâtonnants d'une population à une autre sont fonction des circonstances, c'est-à-dire du hasard.

Les observations de plus en plus précises issues des méthodes modernes de classification amènent même assez souvent à transformer des sous-espèces en espèces ou, inversement, à ramener des espèces au rang de sous-espèces. Dans certains ensembles comme celui de *Drosophila paulistorum*, les noms attribués aux diverses populations sont différents suivant l'humeur du biologiste qui les étudie.

Si l'on examine maintenant de plus près les Familles ou les grands Groupes, on découvre, plus souvent qu'on ne le pensait jusqu'ici, des formes intermédiaires qui permettent de passer de l'un à l'autre. Ainsi, à la limite des Simiens, des Rongeurs et des Insectivores, il y a des familles que les auteurs ont classées tantôt dans le premier tantôt dans le second ou le troisième groupe.

La coupure entre les groupes paraît ainsi s'estomper au fur et à mesure qu'augmentent nos connaissances et, ici encore, le passage d'un groupe à l'autre paraît correspondre à l'addition en tous sens — je veux dire « due au hasard » — de petits caractères. En outre, dans les images que donnent les schémas phylogénétiques que nous essayons de construire à partir de comparaisons anatomiques et suivant la position des fossiles, on constate que ces « arbres » phylogénétiques présentent une image en « buissons », sans qu'il soit possible de reconnaître dans ces structures les poussées évolutives jadis si chères à certains auteurs finalistes. Il n'y a dans la nature aucun sens apparent, aucun ordre classificatoire correspondant à un plan d'ensemble, mais seulement un immense jeu d'essais et d'erreurs qui évoque un jeu de hasard.

Si l'on examine enfin la série des grands organes extrêmement complexes, tel cet œil qui hantait Darwin, on reconnaît encore, parmi les êtres actuellement vivants, toutes les formes possibles, depuis les yeux composés seulement de 1, 2 ou 4 cellules

ocellaires jusqu'aux formes les plus complexes des yeux en cavité avec cristallin. Nous reviendrons plus longuement sur l'histoire de l'œil.

Pour de nombreux autres organes, la zoologie comparée nous fait découvrir des images qui suggèrent des constructions d'organes par petites étapes. Tout le monde sait que les poissons respirent avec des branchies mais il existe de nombreux poissons qui utilisent un appareil respiratoire complémentaire que nous nommons la vessie natatoire. Dans ces dernières espèces, la vessie natatoire qui est située dans la position du poumon est irriguée par des vaisseaux sanguins qui correspondent, en plus petit, à ceux qui irrigueront plus tard le poumon. Or, on connaît aujourd'hui des poissons à double système respiratoire dans trois régions du monde : en Amazonie, dans le bassin du Congo et, en Australie, dans les marécages du Queensland. On pourrait repérer dans ces différents groupes des espèces qui ont davantage besoin du système pulmonaire adjacent et d'autres qui en ont moins besoin.

Il se trouve aussi que ces poissons ressemblent par de nombreux aspects aux plus primitifs des Amphibiens fossiles dont on ne connaît évidemment que le squelette. En suivant les séries des formes vivantes de ces groupes, on est vite amené à penser que le poumon a peu à peu remplacé les branchies au cours de l'évolution. Des phénomènes de remplacements successifs d'organes ont été observés pour d'autres systèmes anatomiques ou physiologiques, le système rénal, par exemple. On peut donc facilement expliquer par ce mécanisme la construction, par petites étapes, des structures les plus complexes.

Il est enfin une dernière observation des naturalistes qu'il faut rappeler maintenant et qui est bien connue depuis Darwin : dans la nature, chaque couple vivant donne un nombre d'œufs infiniment plus grand que ce que notre planète pourrait tolérer s'ils devenaient tous adultes. Ainsi une femelle de crapaud des Alpes pond environ 10 000 œufs par an, soit 30 à 40 000 dans sa vie ; on peut estimer que seulement 2 ou 3 de ces 40 000 œufs donneront un animal adulte. Certains seront évidemment éliminés par hasard, si par exemple la ponte est desséchée par le soleil ; mais, en règle générale, on peut se demander quels sont ceux que laissera vivre et grandir la nature. Seront-ils simplement éliminés par hasard ? Darwin pensait que la sélection triait les plus aptes. Pendant plus de 70 ans après la publication de *L'origine des espèces*, cette explication est demeurée une hypothèse construite sur des observations extrêmement superficielles qui ne pouvaient en aucun cas emporter la conviction. Les conceptions de Darwin furent tellement décriées qu'on en vint même à parler d'une crise du transformisme. C'est alors que naquirent la génétique classique et la génétique des populations.

2. Deuxième regard sur la nature : les observations des généticiens

On sait que tout être vivant est composé de cellules et que les êtres les plus simples sont unicellulaires. À la suite des observations de Mendel et des milliers de travaux qui ont suivi ses premières découvertes, on a établi que les caractères héréditaires étaient portés par de petites molécules chimiques — les gènes — situées au niveau d'organites allongés dénommés chromosomes et présents dans le noyau de chaque

cellule. Un lot complet de gènes représentant tous les caractères de l'individu se trouve dans chaque noyau : ainsi, dans les noyaux des cellules de l'œil se trouvent aussi les gènes qui déterminent la forme des membres ou la couleur des cheveux, et inversement ; mais, dans l'œil, seuls les gènes de cet organe sont en activité alors que ceux des membres ou des cheveux sont en sommeil. On sait enfin que les chromosomes vont par paire dans chaque noyau, sauf dans les cellules sexuelles qui n'en possèdent qu'un seul jeu ; grâce au cycle $2n-N$ chromosomes, les adultes d'une même espèce ont toujours le même nombre $2n$ chromosomes.

Dans ce système, s'il n'y avait aucun changement d'une génération à l'autre, les espèces seraient parfaitement stables et rien ne bougerait dans la nature ; le monde vivant n'aurait pas évolué. Cependant apparaissent de temps à autre des changements que l'on appelle des mutations. Au moment où les chromosomes se divisent — surtout lors de la constitution des cellules sexuelles — il se peut qu'un acide nucléique soit modifié et donne une structure légèrement différente de celle des gènes des parents. Le sujet porteur de ce gène légèrement modifié présente alors — sous l'effet de cette mutation — une structure héréditaire nouvelle.

On a raconté pendant longtemps les histoires les plus étranges sur les possibilités des mutations : par exemple qu'elles n'étaient pas assez nombreuses et qu'elles étaient toujours désavantageuses pour l'individu. Tout autre est la réalité. Il y a plutôt trop de mutations et, dans l'état actuel de nos connaissances, c'est leur abondance qui pose un problème : celui du polymorphisme. On a cherché à expliquer cette abondance par diverses théories : l'avantage des hétérozygotes, la neutralité d'un certain nombre de gènes, etc. Nous n'insisterons pas sur cette question.

Par contre, il est important pour notre propos de rappeler dès maintenant que ces mutations apparaissent au hasard, c'est-à-dire grâce à la rencontre de séries causales indépendantes. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

L'étude des génomes des espèces vivantes — variétés, sous-espèces, populations — montre exactement ce que nous a montré l'observation de la nature : une infinité de variations en tous sens, une infinité de petits changements qui correspondent exactement à cette image multiforme du monde vivant dont nous avons essayé plus haut de brosser un tableau très rapide. L'apparition au hasard des mutations nous paraît expliquer parfaitement la variabilité foisonnante des espèces.

Mais ici se dessine un nouvel élément. Nous savons que beaucoup de ces mutations sont défavorables et aussi que chaque couple de vivants peut engendrer un nombre d'œufs infiniment supérieur au nombre de vivants que notre planète pourrait abriter si tous ces œufs arrivaient à maturité. C'est alors que va jouer la sélection qui ne laissera survivre à la longue que les animaux porteurs de mutations favorables, ce phénomène étant évidemment d'ordre statistique. Quoiqu'en disent certains auteurs d'articles de vulgarisation ou même quelques biologistes mal informés, l'action de la sélection a été clairement démontrée depuis quelque quarante ans et ceci par trois voies parallèles que l'on peut essayer de schématiser. Seule pourrait être discutée la généralisation de ce phénomène à l'ensemble du monde vivant.

1) La première voie correspond à un raisonnement mathématique étayé par un ensemble de théorèmes issus d'une loi découverte en 1907 par Hardy et Weinberg, elle-même dérivée des lois de Mendel. Ces réflexions rigoureusement théoriques constituent ce que l'on appelle la « génétique des populations ». On a d'abord démontré qu'en l'absence de sélection les populations ne changent pas, c'est-à-dire qu'en l'absence de sélection le pourcentage de chaque gène dans une population demeure stable d'une génération à l'autre, de sorte que l'on pourrait écrire : génération 1 = génération 2 = génération 3, etc. Ceci établi, les auteurs ont essayé de calculer ce que donneraient ces mêmes populations si certains gènes étaient dotés d'un avantage ou d'un désavantage sélectif. Dans ces conditions, ils ont même pu évaluer des coefficients tels que la valeur adaptative. Selon cette méthode, on a effectué depuis 1930 environ un nombre considérable de travaux ; ils prennent souvent une allure tellement mathématique que, dans les résumés qu'en donne le bulletin signalétique du CNRS, on trouve parfois, à la suite du titre, cette expression laconique : « raisonnement théorique ».

S'il n'y avait eu que ces réflexions pour démontrer la réalité de la sélection naturelle, il nous semble que personne n'aurait été convaincu. Une série de raisonnements mathématiques, même parfaitement appuyés sur les lois de Mendel, ne pouvaient prétendre être convaincants. Dès le premier tiers de ce siècle, deux types de recherches ont été entreprises pour confirmer les analyses mathématiques : d'une part, des expériences réalisées dans des cages à populations et, d'autre part, des observations précises dans la nature. Ce sont les deuxième et troisième voies de démonstration du rôle de la sélection.

2) Les auteurs qui avaient, par le calcul, construit la génétique théorique que nous avons appelée « génétique des populations » avaient imaginé, en somme, des populations idéales bien isolées, disposant d'une certaine surface et d'une certaine quantité de nourriture pour vivre. Ils avaient pensé que, dans de telles conditions, puisqu'il y a toujours dans une population, par rapport au nombre total possible d'individus, trop d'œufs et trop de larves, les sujets atteints d'une mutation favorable devaient avoir plus de chance de survivre que les autres. Des scientifiques se sont alors demandé s'il ne serait pas possible de réaliser en laboratoire des expérimentations correspondant à ces modèles théoriques et de regarder si, effectivement, dans de telles structures, certains mutants seraient éliminés tandis que d'autres se multiplieraient et survivraient mieux.

C'est en France, au milieu des années 30, que fut imaginée par les biologistes Teissier et L'Héritier une méthode qui allait permettre de tester les calculs de la génétique théorique et d'observer non seulement des résultats bruts mais même, dans certains cas heureux, de chiffrer la valeur adaptative que nous avons évoquée plus haut.

On construisit donc des cages d'élevages où, en fonction de la taille des cages et de la quantité de nourriture distribuée, devaient pouvoir survivre 3 000 mouches environ. Comme chaque drosophile pond une centaine d'œufs toutes les trois semaines, ne devaient pouvoir survivre dans la cage que 1% des sujets de la nouvelle génération. On avait là, en quelque sorte, une petite population naturelle analogue à celle qu'avait

imaginée Darwin lorsque, se référant à Malthus, il avait pensé que dans la nature, en raison de l'immense fécondité des espèces, un petit nombre seulement de sujets pouvaient survivre : les plus aptes. C'était aussi une population qui correspondait exactement à celles définies par les auteurs de la génétique théorique.

Supposons que, dans de telles cages, on mélange deux lots de drosophiles, en tous points semblables statistiquement, *sauf* pour un caractère facile à repérer : par exemple, des animaux avec des yeux de type sauvage et d'autres avec des yeux de type sépia. Si les croisements dans la cage ont lieu au hasard, si le nombre d'œufs pondus est le même pour chaque type de mouche, si chaque génération pond environ 100 fois plus d'œufs que la cage ne peut contenir d'adultes, *si la mort frappe au hasard*, on devra toujours retrouver dans la cage, de génération en génération, le même pourcentage de sauvage et de sépia qu'au départ. Si, au contraire, *la mort ne frappe pas au hasard, c'est-à-dire si elle frappe de préférence les sauvages ou les sépias*, peu à peu l'un des deux lots aura tendance à remplacer l'autre.

Or, ce type d'expérimentation a été réalisé et on a pratiquement toujours constaté qu'en effet l'un des lots a tendance à remplacer l'autre, et ceci — lorsque les conditions sont semblables — à une cadence régulière que l'on peut mesurer. Il serait alors stupide d'imaginer que la mort frappe toujours le même lot sans raison. On est logiquement amené à penser que, si la mort frappe ce lot avec une régularité mesurable, c'est parce qu'il possède par rapport à l'autre — *et dans les conditions de l'expérimentation* — un certain désavantage à l'égard de la survie.

Dans de telles expériences, on a même souvent pu évaluer la valeur sélective des lots en présence et retrouver à peu près exactement les principales données des analyses mathématiques élaborées de façon totalement conceptuelle dans les grands schémas de la génétique des populations.

Remarquons au passage que la méthode qui a consisté à bâtir d'abord une théorie mathématique à partir des lois de Mendel puis à la vérifier expérimentalement correspond à celle qu'ont souvent utilisée les physiciens. Lorsque Einstein attend, pour vérifier ses hypothèses, une éclipse devenue célèbre dans l'histoire des sciences, il opère exactement comme le firent les « pré-synthéticiens » du premier tiers de ce siècle lorsqu'ils cherchaient à construire une cage à populations. Le schéma historique de la génétique des populations représente, nous semble-t-il, l'un des plus beaux exemples de théorie vérifiée par ces expérimentations difficiles à concevoir que nous offre l'histoire des grandes théories biologiques.

3) D'autres expériences, mettant en évidence également le rôle de la sélection, ont été réalisées dans la nature ; l'une des plus célèbres est l'étude des biologistes Ford et Kettlewell en Angleterre sur le papillon *Biston betularia*.

Cette espèce, ou Phalène du Bouleau, est généralement de couleur grise ; les collectionneurs trouvaient de temps à autre des sujets mutants de couleur noire. La mutation noire se réalisait donc périodiquement chez les papillons gris, mais ces mutants se révélaient incapables de faire souche. À la fin du siècle dernier, avec l'apparition de la civilisation industrielle, on constata que les mutants noirs devenaient de plus en plus nombreux dans les villes. On pensa alors qu'ils pouvaient survivre

parce que, les murs des villes s'étant noircis, sous l'effet des fumées industrielles, les oiseaux ne pouvaient plus apercevoir les papillons noirs et se nourrissaient d'autres papillons. On admit que dans les campagnes, au contraire, les papillons noirs étaient facilement repérés et éliminés par les oiseaux ; ils ne pouvaient donc se reproduire.

Cette hypothèse fut vérifiée par un nombre considérable de travaux : lâchage de papillons marqués, surveillance des animaux à la jumelle, étude des pourcentages de ceux qui étaient mangés par les oiseaux suivant leur couleur et celle du support où ils s'étaient posés, etc. Après des années d'observation, il fut bien établi que, chez *Biston betularia*, la mutation noire apparaissait relativement souvent mais qu'avant la civilisation industrielle et ses nuisances, ce papillon noir visible sur les arbres ou les murs gris était rapidement mangé ; la mutation était donc désavantageuse. Au contraire, dans les régions aux murs noircis par la fumée, elle devenait avantageuse.

Dans l'exemple des papillons noirs et gris, on peut dire qu'interviennent deux hasards successifs :

- la mutation noire est due au hasard, car — nous l'avons souvent dit — la mutation est le produit d'une rencontre de séries causales indépendantes ;
- suivant le lieu où elle apparaît, la mutation sera favorable ou défavorable à la survie de l'animal ; si elle apparaît en ville, elle sera favorable, alors qu'à la campagne elle sera défavorable. Or, c'est par hasard qu'elle se manifeste chez tel papillon ou chez tel autre, à la ville ou à la campagne.

On pourrait décrire un assez grand nombre de faits de ce genre, suffisamment bien observés et rapportés pour que l'on puisse affirmer qu'ils mettent en évidence de façon convaincante le phénomène de la sélection naturelle. Nier aujourd'hui la réalité de la sélection représente une position dépourvue de sens ou mal informée.

Évidemment, on pourra toujours objecter que les faits ainsi observés ne représentent que de petits phénomènes d'évolution et que la sélection n'a pas pu construire à elle seule un œil ou un cerveau, — de même que l'on pourrait toujours dire que la théorie cellulaire ou les lois de Mendel ne se sont pas appliquées aux Dinosaures. En science, la généralisation d'un phénomène à partir de petits faits pose toujours des problèmes. En généralisant et en acceptant l'idée que la sélection est une loi de la nature, nous utilisons le schéma de la méthode traditionnelle. En tout cas, on ne peut pas nous objecter que nous manquons d'expériences démonstratives. On ne peut soutenir que la théorie synthétique n'est pas construite sur des observations et des expérimentations extrêmement solides. Nous reverrons dans la partie III le problème de la généralisation de la théorie.

Nous devons préciser ici qu'à l'intérieur même du système de la théorie synthétique, le hasard intervient aussi très souvent à l'encontre de la sélection naturelle et peut provoquer le développement de caractères nouveaux et donc de formes nouvelles par des processus tels que la dérive génétique ou l'effet fondateur. Ce problème correspond en quelque sorte aux conditions limites de la sélection. Nous n'avons pas cru utile de l'étudier ici, car il joue un rôle moins important que le phénomène global présenté dans ce travail : le hasard au niveau des mutations.

II. LE HASARD ET LES LOIS

Jusqu'ici nous n'avons presque pas parlé du hasard, nous l'avons seulement évoqué. Avant d'aborder la définition complexe de ce terme, il convient de la replacer dans un certain contexte et, tout d'abord, de situer ce qu'est la science et quels sont les types de phénomènes et d'événements qu'elle étudie.

La science a d'abord pour fonction de décrire les éléments qui composent l'univers et leurs propriétés. La science est l'étude de la matière. Les philosophes préfèrent dire que la science est l'étude du « réel sensible ».

Depuis presque deux siècles, elle a bien établi que la matière était composée d'une centaine de corps simples qui pouvaient s'associer entre eux pour donner des corps composés. Ces associations peuvent être infiniment complexes ; c'est ainsi que la matière vivante elle-même n'est pas autre chose qu'une structure chimique composée de corps simples, mais dont l'architecture est si complexe que les hommes de science ont commencé il y a un siècle à peine à la comprendre.

La science a aussi pour objet d'étudier les phénomènes qu'elle observe, d'en reconnaître les causes, les conditions, les mécanismes.

Aristote a écrit depuis longtemps déjà que tout événement étudié par la science peut être produit par trois types de phénomènes : une loi, un hasard ou une finalité. D'autres auteurs, tel Laplace, ont repris cette idée. Il est donc nécessaire de définir ces trois concepts pour bien faire comprendre la situation du hasard par rapport aux événements que les observateurs de la nature rencontrent chaque jour sur leur chemin.

La loi exprime un lien obligatoire et constant entre deux phénomènes : la reconnaissance d'une loi, c'est la reconnaissance d'une liaison. Il semble que le mot « loi » soit né dans l'Antiquité, à Babylone, pour exprimer l'obligation dans laquelle se trouvaient les hommes d'obéir aux dieux. Le passage de la loi religieuse à la loi scientifique, c'est-à-dire la reconnaissance de liens nécessaires entre des phénomènes, se serait effectué en Grèce au VI^e siècle avant Jésus-Christ.

On admet qu'il y a des lois mathématiques et des lois d'observation. Les mathématiciens ont défini des lois qui s'expriment par des théorèmes, des équations, des corollaires. On réserve le plus souvent le mot « loi » à des phénomènes très généraux : on parle, par exemple, des lois fondamentales de la chimie. Mais les philosophes des sciences ont compris depuis longtemps que ce terme devait s'appliquer également à des phénomènes plus restreints, et l'on considère maintenant que le mot « loi » est presque synonyme de propriété. Un texte de Meyerson l'illustre bien :

Qu'est-ce que le soufre ? C'est un corps solide, jaune, fusible à 114°, bouillant à 448°, produisant par combustion un gaz bien connu sous le nom d'anhydride sulfureux, etc. Or, en disant : le soufre a une couleur jaune, le soufre fond à 114°, etc., j'énonce incontestablement des lois⁶.

6. Cette idée de Meyerson a été discutée : personnellement nous la croyons juste. Nous reviendrons sur ce sujet dans un autre article.

Après ce nécessaire préambule, nous arrivons enfin au mot clef de cet article : le hasard. Comme nous l'avons déjà dit, ce mot a été employé, lui aussi, dans différentes acceptions. Pour le sens commun, il est presque synonyme de chance ou de malchance et l'on parle souvent de hasard heureux ou malheureux. Parfois aussi on laisse entendre que le hasard est un phénomène sans cause ; ceci est parfaitement inexact car il n'y a pas de phénomène sans cause (le mot « cause » étant employé au sens scientifique que nous avons déjà précisé plus haut : la cause est l'élément dernier qui, dans un enchaînement de circonstances déterminées, produit tel événement).

La définition du hasard la plus souvent reconnue par les scientifiques a été proposée par Aristote, puis reprise et analysée longuement au milieu du XIX^e siècle par Cournot : *le hasard est une rencontre de séries causales indépendantes*.

On peut imaginer un exemple-type de ce hasard. À la suite d'une série de causes, une feuille de papier a été posée sur une table dans une pièce dont la fenêtre est ouverte ; un coup de vent fait tomber la feuille ; le vent est dû à une dépression atmosphérique survenue sur la montagne voisine ; cette dépression a été causée par un orage survenu assez loin qui avait pour origine une tempête dans l'océan voisin... Il est évident que les deux séries causales — celles qui avaient amené la feuille de papier sur la table et celles qui avaient entraîné le coup de vent — sont totalement indépendantes l'une de l'autre : cette rencontre est un hasard.

Nous observons chaque jour dans notre vie des phénomènes dus à des rencontres de séries causales indépendantes. Pierre est allé se promener sur la place du village ; Paul va acheter un journal sur cette même place et ils s'y rencontrent ; cette rencontre est un hasard. De nombreuses découvertes scientifiques ont été le produit d'une rencontre de séries causales indépendantes, donc du hasard.

Dans le domaine des théories de l'évolution biologique, on parle beaucoup du hasard et l'on a dit souvent que les mutations étaient le fruit du hasard. On sait en effet qu'une mutation est due à une transformation chimique de l'un des acides nucléiques des gènes héréditaires qui sont des éléments constitutifs des chromosomes. On sait aussi que cette transformation chimique est due à des causes diverses : souvent une perturbation du milieu telle que l'action imprévisible d'une substance chimique ou bien l'action d'un rayonnement électromagnétique. On a cité comme exemple de ces causes diverses l'action d'un rayon cosmique qui, venant d'une autre planète, frappe un point de la molécule d'acide nucléique. Ce dernier exemple est typique : dans ce cas, en effet, le hasard est dû au fait que l'acide nucléique d'un spermatozoïde ou d'un ovule se trouvant en un point de l'espace a rencontré un rayon électromagnétique issu d'une autre planète. C'est bien une rencontre de deux séries causales indépendantes, donc le fruit du hasard.

Les biologistes disent que le mécanisme essentiel de l'évolution réside dans l'immense jeu de telles mutations et que ce sont donc des mutations triées par la sélection mais dues au hasard qui ont provoqué la constitution des organes les plus complexes : l'œil, le cerveau, la main, le foie, etc.

Il est important de noter que les synthéticiens eux-mêmes ont souvent mal compris cette signification du mot « hasard ». Ainsi Dobzansky, dans son ouvrage *Génétique*

*du processus évolutif*⁷ écrit trois pages où l'on sent quelque hésitation sur la définition du terme : il admet mal que l'on puisse utiliser le mot hasard pour définir un système causal qui ne peut pas tout faire. Cette idée se retrouve assez souvent chez les biologistes contemporains.

La définition de ce terme « hasard », phénomène produit par une rencontre de séries causales indépendantes, ne stipule nullement que cette rencontre de séries causales puisse tout faire. Elle peut seulement réaliser ce dont le système sur lequel elle agit est capable. À la roulette, s'il y a 36 numéros, le hasard ne pourra jamais faire sortir le 37. De même, dans la nature, les mutations triées par la sélection agissant sur un génome déterminé ne pourront jamais réaliser que ce que peut faire ce génome. Ainsi, on ne voit pas très bien comment des mutations pourraient transformer d'un coup une mouche en éléphant ou, comme l'écrivent Petit et Zuckerklund : « Par aucun tour de prestidigitation de la nature, des caractères de Mammifères ne pourraient apparaître dans un ver de terre⁸. » Par contre, on conçoit facilement que, chez certains Mammifères, l'orifice nasal se soit allongé d'étape en étape pour donner une trompe tandis qu'en même temps apparaissaient peu à peu les autres caractères de l'animal bien connu qui en est pourvu : l'éléphant.

En somme, à chaque étape de l'évolution, le hasard agit sur les génomes dont il dispose et construit, à partir d'eux et de leurs possibilités, l'une des nouvelles étapes qui fait partie de ces possibilités. Le hasard ne peut pas tout faire ; il fait ce qu'il est possible de faire à telle étape précise du génome, mais c'est ainsi que, d'étape en étape, de période en période, il pourra amener la chaîne des êtres de l'amibe à l'éléphant et à un immense réseau d'autres familles et espèces.

Il est peut-être utile d'évacuer encore sur ces sujets une vieille légende. Depuis longtemps déjà, certains auteurs, philosophes ou scientifiques, ont prétendu que la vie n'avait pas pu fabriquer, par hasard, des organes complexes car, disaient-ils par comparaison, pour que des singes dactylographes tapent par hasard l'Énéide, il faudrait un nombre d'essais qui dépasseraient de loin le nombre des atomes de l'univers. C'est oublier que le système vivant ne fonctionne pas de cette façon. Dans le système vivant, lorsqu'un élément est positif, il reste en place. Si l'on s'en tenait à la comparaison des singes dactylographes, il faudrait imaginer un système qui soit tel que, lorsqu'une lettre est tapée à la bonne place, elle y reste. Un statisticien montrerait alors facilement que, dans ce cas, on pourrait assez vite arriver à taper un poème. Comme nous l'avons évoqué plus haut, les jeux de hasard chez le vivant récupèrent à chaque instant un génome au point où il en est et, à partir de ce génome, construisent un autre génome plus ou moins bien adapté, sans repartir de zéro à chaque étape.

Il faut noter aussi que l'on confond parfois les mots « hasard » et « phénomènes aléatoires » :

Saporta définit ainsi « l'expérience aléatoire » : « Une expérience est qualifiée d'aléatoire si on ne peut prévoir par avance son résultat et si, répétée dans des conditions identiques,

7. Traduction française, Flammarion, 1977, p. 126-129.

8. PETIT et ZUCKERKLUND, *Génétique des populations. Évolution moléculaire*, Paris, Hermann, 1976, 278 p. ; ici, p. 263.

elle peut (ou aurait pu s'il s'agit d'une expérience par nature unique) donner lieu à des résultats différents. »

Et plus loin : « *Exemple* : on prélève au hasard n ampoules électriques dans une production et on mesure leurs durées de fonctionnement. Si les caractéristiques de fabrication n'ont pas varié d'une ampoule à l'autre, les différences entre les x_i peuvent être considérées comme des fluctuations de nature aléatoire. »

Lorsque nous prenons dans un sac un jeton de loto, nous effectuons un acte entièrement livré au hasard car nous ne pouvons pas savoir quel jeton nous allons en retirer. Nous pouvons seulement prévoir — à condition de connaître le nombre de jetons dans le sac — combien de chances nous avons de ramener tel ou tel numéro en fonction du nombre d'opérations effectuées. Les lois dites « lois du hasard » correspondent à l'analyse statistique des résultats possibles dans tel ou tel cas déterminé. Les termes « événements aléatoires » correspondent, en fait, à l'apparence externe du phénomène hasard⁹.

Le hasard, c'est-à-dire la rencontre de séries causales indépendantes, est le phénomène qui produit « par essence » des phénomènes aléatoires.

Pour terminer l'analyse de ces trois concepts : loi — hasard — finalité, rappelons sommairement ce qu'est la finalité, laquelle n'appartient pas au domaine de la science, précisons-le tout de suite. On peut dire que la finalité est l'inverse du hasard car elle résulte d'une rencontre de séries causales dépendantes l'une de l'autre. Lorsque, au cours d'une manifestation, des coups de feu sont tirés et Monsieur X est tué, ce sont le trajet de la balle et la place de Monsieur X sur ce trajet qui entraînent sa mort. Ces deux séries de causes sont indépendantes et la mort de Monsieur X est due au hasard. Si, par contre, il y a parmi les tireurs un ennemi mortel de Monsieur X qui l'a repéré sur la barricade et qui l'a visé, sa mort est due à une rencontre de séries causales dépendantes l'une de l'autre : le trajet de la balle dépendait de la place de Monsieur X ; sa mort est le résultat d'une finalité.

Il faut maintenant aborder un point capital : suivant quel processus le hasard et la finalité interviennent-ils ? En étudiant ces deux questions, on reconnaîtra très vite que le hasard et la finalité ne « produisent » rien qui ne soit déjà inscrit dans les possibilités de la nature. Le hasard et la finalité ne sont pas des sorciers qui font sortir un lapin d'un chapeau. Lorsque le hasard préside à la chute de la feuille de papier posée sur une table, pour reprendre l'exemple cité plus haut, on remarquera que la série des causes qui a poussé la feuille hors de la table a mis, de ce fait, la feuille dans une situation telle qu'elle doit désormais obéir aux lois de la pesanteur.

Le hasard et la finalité ne peuvent faire apparaître un phénomène nouveau qu'en utilisant les lois de la nature, c'est-à-dire en mettant en œuvre les possibilités de cette nature. Ils n'agissent pas en créant quelque chose de nouveau mais en utilisant des lois déjà connues ou encore inconnues mais que l'on pourrait alors étudier.

Nous pouvons donc dire que, dans la nature, il y a bien loi, hasard ou finalité mais, en réalité, tout se ramène à des lois : *tout est loi dans la nature*. L'histoire de la vie ne s'explique pas, en dernier ressort, par les mutations, la sélection et le hasard, mais par les lois de la nature. Le but de l'homme de science est de décrire la nature,

9. M. DELSOL, *Cause, loi, hasard en biologie*, p. 169.

de reconnaître ses lois ou de reconnaître les hasards qui ont mis celles-ci en jeu lors d'événements qu'il décrit.

En tant que scientifiques, nous ne connaissons dans nos laboratoires que des observations de faits et d'événements produits par les lois de la nature et par le hasard. En tant que biologistes, nous prétendons que l'on peut expliquer toute l'évolution par les lois de la nature et par l'action du hasard. La sélection se range plus particulièrement dans le cadre de l'action des lois, les mutations dans celui des événements déclenchés par le hasard qui met en jeu les lois de la nature. Pour expliquer la nature, nous n'avons, en tant que scientifiques, besoin d'aucune finalité et moins encore de ces forces mystérieuses — élan vital ou orthogénèse — que certains croyaient reconnaître dans le cheminement du monde vivant. J'insiste en particulier sur le fait que — contrairement à ce que certains croient encore — l'action du hasard, triée par la sélection, me suffit pour expliquer l'histoire des organes les plus complexes tels que l'œil et toutes ses corrélations, et ceci dans le cadre même des lois de l'univers, c'est-à-dire dans le cadre de la science.

Telle est la conclusion simple du scientifique qui travaille dans son laboratoire sans se livrer à d'autres réflexions que celles que lui permet la science.

III. HISTOIRE DE L'ŒIL MUTATION ET SÉLECTION — LOIS ET HASARD

Dans les pages qui précèdent, nous avons défini les grands schémas de la théorie synthétique, situé le rôle de la mutation et de la sélection dans cette théorie et défini les concepts de hasard et de loi. Nous croyons utile de reprendre maintenant les questions ainsi étudiées mais avec un exemple précis. Ce type d'analyse sera peut-être plus convaincant que ne le seraient, seules, les analyses théoriques développées plus haut.

Qui plus est, nous allons prendre justement comme exemple cet appareil étonnant par sa complexité qui, dit-on, surprenait Darwin lui-même: l'œil des Vertébrés. On sait que cet organe a toujours servi d'exemple aux auteurs qui refusaient le rôle du hasard dans l'évolution. On sait aussi que Bergson, étonné par le fait que l'œil des Vertébrés présentait des ressemblances avec celui qui s'est construit chez les Mollusques, avait suggéré qu'il y avait eu, pour diriger l'évolution, une force intelligente — l'élan vital — car, pensait-il, il était impossible que le hasard ait fabriqué deux fois le même organe. Si le système oculaire avait été reproduit deux fois, c'est parce qu'il était l'objet d'un plan: telle est, du moins, la façon dont les biologistes ont interprété la pensée de ce philosophe¹⁰.

On sait que, dans le globe oculaire des Vertébrés, la pièce essentielle est évidemment la rétine qui est un tapis de cellules réceptrices de la lumière formant le fond du globe oculaire d'où part le nerf optique. Parmi beaucoup d'autres mécanismes, les observateurs ont depuis longtemps admiré surtout la complexité de la rétine et le fait qu'en face de ce « tapis » il y ait un liquide transparent, formant, au niveau de

10. D'autres auteurs ont eu une interprétation différente.

l'ouverture de la cavité oculaire, une lentille transparente — le cristallin — et, par devant, pour assurer l'étanchéité du tout, une membrane également transparente — la cornée. Ils se sont étonnés que ce système complexe ait pu se construire en liaison avec un cerveau qui en interprétait les images.

Nous allons essayer de voir comment les évolutionnistes expliquent, par des systèmes de lois que la science peut décrire, l'origine de la transparence de la cornée et du cristallin, l'origine de la complexité de la rétine et son lien avec le cerveau. Nous analyserons d'abord ces problèmes par des descriptions donnant lieu à des réflexions analogiques (cf. 1 et 2). Ensuite, nous décrirons les étapes de l'histoire de l'œil dans la série des espèces vivantes (cf. 3). Enfin nous essayerons de faire comprendre pour quelles raisons le lien entre cerveau et œil peut aussi s'expliquer en termes de hasard et sélection (cf. 4).

Nous n'ignorons nullement que, dans cet exposé, nous n'aborderons que des problèmes parcellaires dont nous n'étudierons qu'un aspect très limité. Au cours de conférences sur ce sujet, il se trouve souvent un auditeur pour objecter : « Vous avez oublié la complexité de tel ou tel autre phénomène lié aux constructions que vous venez de décrire. » Nous répondons à l'avance à cette objection en rappelant que nous savons très bien que nous n'étudions ici que quelques aspects d'un organe qui a été l'objet d'un nombre considérable de travaux, et que nous ne prétendons pas présenter une étude exhaustive dans un article aussi général.

1. Transparence du cristallin et de la cornée

Comme nous venons de l'évoquer, la transparence du cristallin et de la cornée et, qui plus est, le fait que ces organes se situent parfaitement dans l'axe l'un de l'autre, ont toujours étonné les observateurs.

Ces réflexions sur la cause de la transparence de la rétine et de la cornée nous ramènent d'abord à un problème général. La transparence n'est pas un caractère propre aux seules parties de l'œil. Dans la nature il y a de petits animaux marins transparents ; beaucoup de substances et de tissus organiques sont translucides. Nous verrons même plus loin que, chez certains Protozoaires, une région du cytoplasme s'est transformée en une lentille transparente, situé justement en face d'un organe sensible à la lumière. Chez certains serpents, la paupière est également transparente. Les tissus morts, ou même des embryons entiers, peuvent également devenir translucides après des traitements techniques que les préparateurs de pièces anatomiques connaissent depuis longtemps. Il est également bien connu que des produits comme le toluène rendent les tissus vivants auparavant bien déshydratés presque transparents ou, tout au moins, translucides. En somme, la transparence semble être une propriété qui peut apparaître assez facilement dans la matière vivante, de la même façon qu'elle peut apparaître dans la silice, par exemple, ce qui permet à ce corps de donner le verre.

Ces données font comprendre que la constitution de zones translucides ou transparentes au niveau des yeux des Vertébrés ne peut étonner que sur un point, capital, il est vrai : le fait que les tissus transparents se mettent en place juste à l'endroit où ils sont utiles, et pas ailleurs. Ce qui frappe, en somme, c'est que, lorsque se constitue

une rétine qui deviendra un organe capable de reconnaître les rayons lumineux d'une certaine longueur et de les transmettre au cerveau, il apparaît en même temps, en face de cette rétine, des organes comme le cristallin et la cornée. Ce qui est étonnant, c'est le fait que des structures qui doivent être transparentes apparaissent exactement là où elles doivent être utiles.

Ici encore nous avons une explication qui intègre ce fait dans les règles auxquelles obéissent les constructions embryonnaires dont certaines commencent aujourd'hui à être bien connues. Les embryologistes ont montré, au début de ce siècle, que le déroulement des embryogenèses s'effectue selon un système d'organiseurs agissant en cascade. Pour développer cette idée, nous allons décrire ce phénomène au niveau de l'œil des Vertébrés, car c'est justement dans l'étude de cet organe qu'il a été découvert.

Le cerveau de l'embryon, chez tous les Vertébrés, est d'abord un organe creux ressemblant à un tube allongé. À son niveau, à peu près vers le milieu de sa longueur, dans la région du diencephale, il apparaît, à droite et à gauche, deux renflements qui deviendront bientôt les ébauches de l'œil et que l'on dénomme cupules optiques. Elles ont bien, en effet, la forme d'une coupe qui sera recouverte par les parois de l'embryon, c'est-à-dire par une région qui donnera plus tard la peau de l'animal, ou ectoderme. Si l'on fait, au niveau de la tête de jeunes embryons, des sections histologiques passant par les deux cupules optiques, on voit très bien se constituer à ces stades l'ébauche d'yeux (Fig.1, A, B, C, D, E).

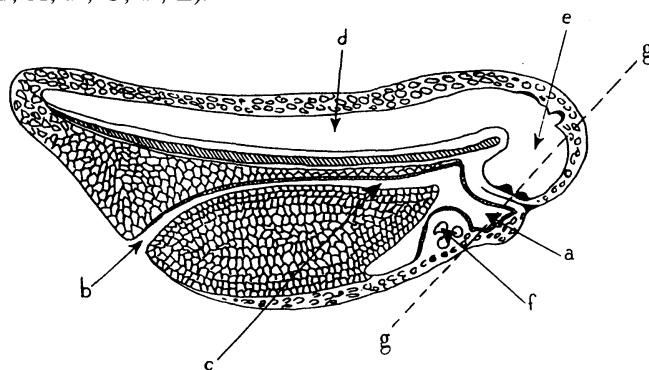


Figure 1 A

Têtard de Batracien Anoure de 5 mm de longueur en coupe longitudinale

a- région de la bouche non encore ouverte

b- région de l'anus, ouverte

c- tube digestif

d- future moëlle épinière

e- futur cerveau

f- région cardiaque en voie de constitution

g- la ligne en pointillé indique le lieu de passage de la figure suivante

Paroi du corps
= épiderme
= ectoderme

Coupe de la région cérébrale passant par le diencéphale

Région antérieure du tube digestif au niveau de la future cavité buccale

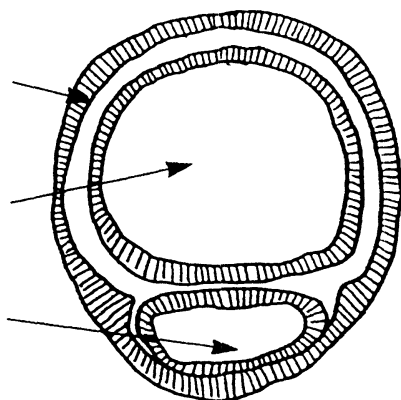


Figure 1 B

Les étapes de la constitution de l'œil.

Les inductions en cascades schématisées.

Premier développement des vésicules optiques (ou cupules optiques)

Tissu intermédiaire induisant la formation des cupules optiques

Région de la future bouche

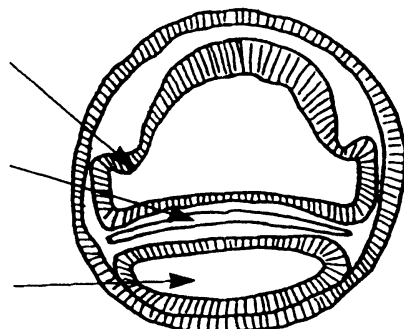


Figure 1 C

Induction de la vésicule optique par le tissu intermédiaire.

Cupule optique constituée

Constitution du cristallin à la suite d'un épaissement de l'épiderme

Le tout est dû à l'induction par la cupule optique

Région de la mâchoire inférieure

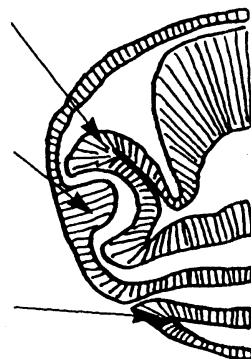


Figure 1 D

Induction du cristallin par la vésicule optique.

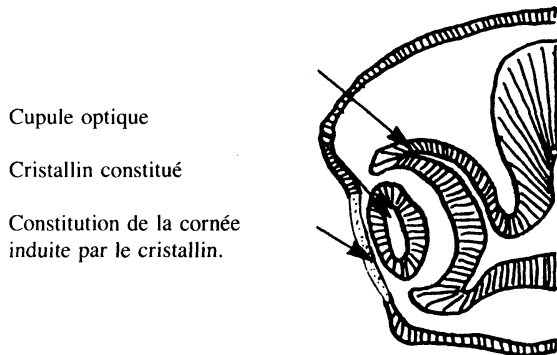


Figure 1 E

Induction de la cornée
par le cristallin.

On notera d'ailleurs que ces formations sont exactement semblables chez tous les Vertébrés. Quelques heures après le stade que nous venons de schématiser, on voit la région de l'ectoderme de l'embryon s'épaissir et donner, en plusieurs étapes successives, d'abord une zone qui va s'organiser en cristallin et ensuite une zone qui s'organisera en cornée. Ces structures ne sont pas transparentes au début de leur formation ; elles sont analogues à l'ectoderme dont elles sont issues. Le déroulement de ces phénomènes est, certes, très étonnant pour les biologistes eux-mêmes qui commencent seulement à en comprendre les mécanismes.

Il y a déjà longtemps, en effet, que l'on cherche à comprendre les causes provoquant d'abord la formation de deux cupules optiques, à droite et à gauche du cerveau, puis un cristallin et enfin une cornée. Or dans le premier tiers de ce siècle, une série de remarquables travaux a montré que ces constructions étaient produites par des substances chimiques nommées *organisateurs* (qui provoquaient d'abord la formation des vésicules optiques et ensuite, à partir de celles-ci, la formation du cristallin et de la cornée). Ces substances organiques viennent des cellules situées contre l'organe qui se transforme. Lorsque celui-ci est constitué, il fabrique à son tour la substance qui « organise » (on dit « induit ») l'organe suivant. L'embryogenèse se construit ainsi de proche en proche, l'organe A induisant l'organe B, l'organe B induisant l'organe C, etc. Les organisateurs agissent par contact : c'est le tissu (mésoderme) situé au-dessous de l'ébauche cérébrale qui provoque la constitution des cupules optiques ; c'est la cupule optique qui sécrète les substances qui entraînent l'épaississement de la peau, située en face d'elle, en cristallin ; c'est le cristallin qui transforme une autre région de la peau en cornée.

Puisque c'est une substance inductrice émanant de la cupule optique qui, agissant par contact, transforme l'épithélium de la larve en lui donnant une structure tissulaire de cristallin, on est amené à penser que la même substance, ou une autre sécrétée également par la cupule, donne à ces tissus cette transparence qui fait, comme nous l'avons vu, partie du jeu des propriétés (c'est-à-dire des lois) de la matière vivante. Cette substance rendrait transparents le cristallin et la cornée, comme l'action de la chaleur transforme la silice opaque en verre transparent.

De nombreux travaux ont été entrepris pour définir la structure chimique des organisateurs mais le problème n'est pas encore éclairci aujourd'hui.

Il est évidemment logique de penser alors que, les substances inductrices agissant par contact, seules deviennent transparentes les régions situées en face de la cupule optique. C'est donc pour cette raison que les zones transparentes de l'œil se forment exactement en face de cette vésicule optique qui sera tapissée par la rétine.

Ces faits ont été établis, entre autres, de la façon suivante : on greffe une vésicule optique déjà constituée sur un embryon dans la peau du ventre d'un autre embryon de même stade. On constate alors qu'à ce niveau la peau située en face de la vésicule devient un cristallin et il se forme un peu plus tard une cornée. L'animal aura donc sur le ventre un troisième œil — évidemment constitué de façon imparfaite et qui ne sera pas fonctionnel puisqu'il n'est pas relié au cerveau — mais parfaitement reconnaissable comme un œil. Inversement, si l'on enlève la vésicule optique, l'ectoderme situé en face et qui aurait dû devenir cristallin et cornée reste de l'ectoderme banal. Des expériences de ce type ont été faites en tous sens.

Il serait naïf de prétendre que ces phénomènes ont été parfaitement saisis. Ce que nous en savons aujourd'hui nous permet de voir que, pour les expliquer, nous n'avons besoin que de mécanismes scientifiques mais, ici encore, nous ne possédons que la première ébauche de l'explication du phénomène. Tout ce qui concerne, par exemple, l'exactitude des détails de la forme est encore si mal connu que l'on considère que les problèmes de la forme devraient à l'avenir, faire l'objet de très importantes recherches, de même que les recherches qui ont abouti à ces données ont, elles-mêmes, fait l'objet d'un nombre considérable de travaux.

2. La complexité de la rétine

Elle a également bien souvent étonné les hommes de science. On sait qu'elle est composée d'un nombre considérable de neurones (parfois jusqu'à quelques centaines de millions) et un esprit malicieux pourra évidemment se demander quelle fabuleuse série de coups de hasard a été nécessaire pour construire tout ceci. Ce serait oublier un élément essentiel : la rétine est composée d'unités élémentaires toutes à peu près semblables. Ce phénomène — la multiplication d'unités semblables — est l'un des fondements de la complexité observée dans les organes des êtres vivants ; dans un texte plus spécialisé, nous l'avons désigné sous le nom de « copie intramétamérique ». On sait évidemment que tout être vivant est composé de cellules et que, d'un appareil à l'autre, ces cellules présentent de grandes différences ; en outre, ces cellules sont groupées en unité de travail et c'est la masse de ces unités de travail toutes semblables qui aboutit à l'importance de l'organe : le foie est composé d'unités histologiques dénommées lobules, le poumon de lobes pulmonaires, le pancréas endocrinien d'îlots de Langerhans, le rein de tubules rénaux, etc.

Ce système facilite curieusement le jeu mutation/sélection pour les deux raisons suivantes :

— Tout le monde admet que les mutations qui dédoublent les structures existantes sont fréquentes dans le monde vivant. Il est, en effet, facile de comprendre leur mécanisme. Dédoubler pose moins de problèmes que provoquer la constitution de quelque chose de nouveau. Or beaucoup d'organes ne sont ainsi que le produit d'un grand nombre de dédoublements successifs.

— Lorsqu'une unique mutation agit sur un gène correspondant à la constitution de la cellule rétinienne, elle agit en même temps sur des millions de cellules. Son effet est donc démultiplié à l'extrême, simplement à cause de la nature et des caractères de la construction de cette rétine composée, comme nous venons de le voir, d'un nombre considérable d'unités identiques.

3. *L'histoire phylogénétique de l'œil*

Nous n'avons étudié jusqu'ici que la construction de l'œil embryonnaire. Nous avons essayé de montrer que le déroulement de cette construction pouvait être décomposé en petites étapes où l'on peut bien retrouver les systèmes de lois que connaissent les biologistes et l'on a même pu perturber ces lois : en enlevant la cupule optique, on a empêché la construction du cristallin et de la cornée ; en modifiant sa place, on a provoqué leur construction ailleurs.

On sait que tout ce que nous avons décrit jusqu'à maintenant est programmé, comme toutes les étapes de l'embryogenèse, dans les gènes héréditaires du noyau des cellules, et se trouve à l'état de programme dans l'œuf au moment où la première cellule entre en division. Ce sont les gènes qui assurent, par exemple — suivant des mécanismes d'ailleurs encore inconnus — la séquence de sécrétions qui provoquent la constitution de la série : cupule, cristallin, cornée.

Cependant, tout ceci ne nous explique pas comment cet organe immensément complexe a pu se réaliser au cours de l'évolution et certains pensent encore qu'il a été nécessaire qu'une force extérieure à la matière donne un « coup de pouce » pour établir en quelque sorte ce programme génétique, comme un architecte doit dessiner son plan.

On comprend qu'ici encore les théories actuelles de l'évolution, telles que nous les avons schématisées plus haut, permettent de saisir les mécanismes de la construction de cet appareil suivant les lois propres à la matière vivante. D'après ces théories, l'œil s'est construit par petites étapes correspondant à de petites mutations, et, en outre, l'histoire du système oculaire donne des images « en buisson » où l'on ne peut prétendre reconnaître une direction. Tout paraît s'être construit suivant un système d'essais et d'erreurs : hasard et sélection.

Nous allons montrer que cette assertion n'est pas une simple vue de l'esprit en examinant, chez les êtres vivants actuels, une série de systèmes oculaires primitifs que l'on appelle « ocelles » et qui nous permettent de passer de la structure la plus simple qui soit au schéma complexe de l'œil des Vertébrés. Évidemment, ces observations sur des animaux vivant actuellement ne démontrent pas que l'évolution s'est réalisée suivant ce schéma, mais elles suggèrent fortement que cette évolution « a pu »

se réaliser suivant un schéma analogue. En somme, en examinant la série des être vivants actuelle, nous constatons que leurs systèmes oculaires présentent toutes les étapes possibles, du plus simple au plus complexe, et nous en déduisons que ces étapes doivent ressembler à celles de l'histoire de la vie.

On sait que les êtres vivants les plus simples et les plus primitifs sont des Protozoaires, c'est-à-dire des formes composées d'une seule cellule. Si les Protozoaires sont apparus en premier, il est évident que leurs descendants actuels, bien qu'ayant gardé le type protozoaire, ont parfois acquis des organites complexes. On sait que certains possèdent, dans le protoplasme de leur unique cellule, de véritables structures digestives avec une bouche et même un anus ; d'autres ont des squelettes très compliqués et souvent très ornementés ; d'autres, de véritables réseaux de prolongements ciliaires entraînés par des réseaux de fibrilles assurant la coordination des battements de cils ; d'autres encore, des flagelles complexes qui assurent leurs mouvements.

Il y a des protozoaires qui possèdent des taches pigmentées sensibles à la lumière. Celles-ci recouvrent un organite qui perçoit les variations du pigment et transmet — en fonction de ce qu'il « ressent » — un ordre aux flagelles de la cellule. C'est sans doute là le type de récepteur lumineux le plus primitif que nous connaissions. Cet organite est situé à l'endroit où s'insère le flagelle. Chez certains protozoaires, les euglènes, qui sont attirés par la lumière, on a réussi à le détruire avec des rayons ultraviolets, et on a constaté que l'animal perdait la faculté de s'orienter. On estime que cet appareil agit sur les fibrilles des flagelles situés à côté de lui et attire ainsi l'animal dans une certaine direction.

Mais il y a plus curieux encore chez un protozoaire qui possède un système semblable — quoique plus complexe — et ressemblant presque à un œil primitif. Chez cet animal qui est formé d'une seule cellule (Fig.2), ce sont donc des régions du cytoplasme qui se sont transformées et qui ont donné cet ocelle complexe. Situé à la base du flagelle, cet appareil est composé de deux éléments : un amas de pigment noir au centre duquel se trouve un pigment différent, rouge, qui serait peut-être la zone photosensible. Mais ce qui est encore plus curieux, c'est qu'au-dessus de la tache pigmentée, il y a une masse de protoplasme qui est devenue transparente et réfringente, c'est-à-dire qu'elle a la propriété de dévier les rayons lumineux. Certains auteurs n'ont pas hésité à penser que cette structure correspondait à une sorte de cristallin primitif.

Est-il étonnant que soient apparues ainsi, par hasard, des mutations qui transforment une partie du cytoplasme en cristallin puisque la matière vivante peut donner des masses translucides et puisque nous supposons que peuvent se constituer — probablement sous l'influence de gènes et après des mutations géniques — des « organisateurs » capables de provoquer la translucidité de cette matière ? On peut penser que, dans ce cas, c'est la tache ocellaire qui sécrète l'organisateur du cristallin primitif. L'hypothèse doit évidemment être vérifiée, mais elle concorde tellement avec nos connaissances en embryologie qu'elle paraît vraisemblable. Ces mutations n'ont fait qu'utiliser les étranges propriétés de cette matière vivante et il est évident que, si l'espèce porteuse de ce « cristallin » a survécu, c'est parce que ce cristallin lui four-

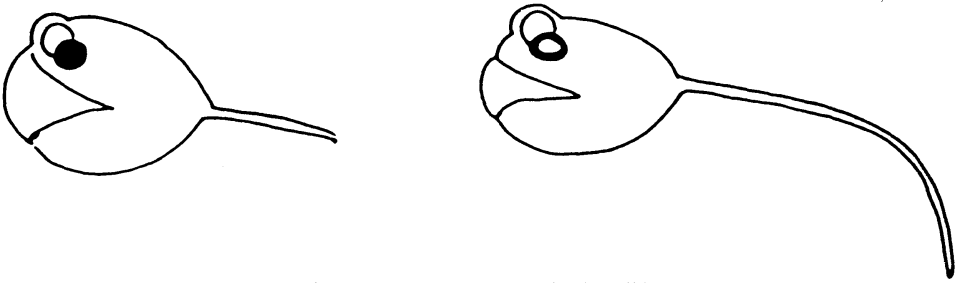


Figure 2 — Protozoaires dinoflagellés

On reconnaît, à l'avant, le corps de l'animal composé d'une seule cellule et, à l'arrière, le flagelle. Dans la cellule, il y a un deuxième flagelle situé à l'avant dans une cavité en V — sur le côté, une grosse tache colorée formant la région pigmentaire de l'ocelle — et, au-dessus, un cristallin constitué par une portion du cytoplasme.

nissait vis-à-vis de ses concurrents un gros avantage. Les jeux du hasard, pourvoyeurs de mutations et de sélection, s'expliquent alors parfaitement bien.

Certes ces phénomènes, comme tous ceux qui caractérisent la nature, sont tout à fait curieux mais, ici encore, il faut bien préciser ce qui nous étonne: ce n'est pas que ce phénomène soit apparu, puisqu'il est en possibilité dans la matière chimique qui compose les vivants. Ce qui nous étonne, c'est qu'il soit inscrit en possibilité, dans la matière qui compose l'univers, de fabriquer des êtres dont la matière chimique puisse *entre autres* fabriquer des substances transparentes ; mais, comme nous l'avons dit, ce type d'interrogation relève plus du domaine de la philosophie. Pour le scientifique, à partir du moment où il a reconnu que cette propriété existe, qu'elle se soit manifestée chez un protozoaire ou dans le cristallin d'un vertébré, cela n'est plus qu'une question de détail technique.

On pourrait évidemment développer dans la suite de notre propos toute l'histoire des yeux primitifs chez les êtres vivants mais il faudrait y consacrer des milliers de pages¹¹. Cependant, grâce à quelques images sommaires, on peut décrire quelques-uns des premiers stades, assez bien choisis pour en faire comprendre la lente progressivité possible.

Chez des Métazoaires très primitifs (Fig.3), on trouve des ocelles qui correspondraient à une cellule unique émettant, d'un côté, un prolongement nerveux ou axone (AX).

Chez certains vers, tels que les Planaires Tricladés que l'on considère comme des espèces très primitives, on connaît trois types d'yeux :

— dans l'espèce *Polycelis*, il y a une seule cellule rétinienne (R) qui émet un prolongement nerveux ou axone (AX) ; elle est plantée sur une couche pigmentée (P), composée de cellules dites choroïdiennes (Fig.4, dessin A) ;

11. En 1983, un colloque du CNRS a été consacré à ce problème chez les Invertébrés. Cf., *La vision chez les Invertébrés*, sous la responsabilité de P. Clément et R. Ramousse, Paris, éditions du CNRS, 1984.

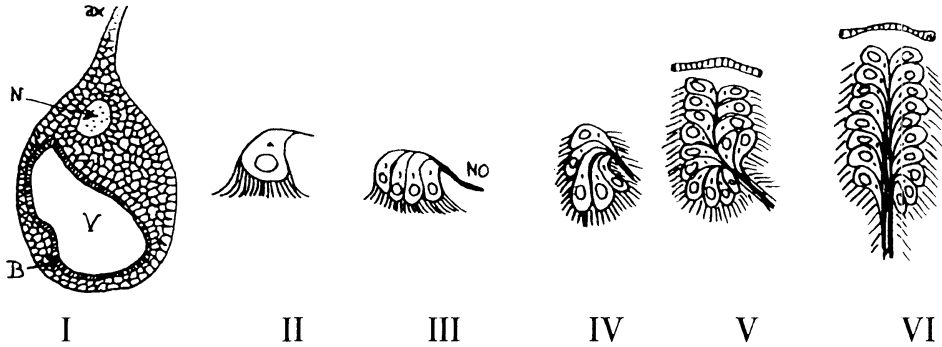


Figure 3 — Ocelles ou yeux de Métazoaires primitifs

Dans le cytoplasme de la cellule, il y a un noyau (N) et une grosse vacuole (V) contenant un liquide protéique réfringent, c'est-à-dire ayant la propriété de réfracter la lumière. Sur les parois de cette vacuole, on observe des sortes de bâtonnets (B) qui sont probablement sensibles à la lumière.

Cette cellule unique est représentée avec un fort grossissement dans le dessin I. Elle est en général — mais pas toujours — associée à une cellule pigmentaire qui l'entoure d'une sorte de coiffe (dessin II). Dans les cas plus évolués, il y a plusieurs cellules photoréceptrices associées (dessins III, IV, V et VI). Dans ces derniers cas, on peut remarquer, d'une espèce à l'autre, plusieurs types de positions de la structure correspondant au nerf optique :

- en III, on a ce que l'on appelle un type « inversé » : le nerf optique (NO) part des cellules « oculaires », à l'opposé de la région pigmentaire ;
- en IV et V, le nerf optique part latéralement ;
- en VI, le nerf optique est terminal.

(Les types V et VI correspondent à deux possibilités de la même espèce : *Hirudo medicinalis*).
(D'après *Traité de zoologie*, Paris, Masson, tome V, fasc. 1, p. 522, fig. 361-362).

- dans l'espèce *Planaria larva*, il y a deux cellules rétinienne (Fig.4, dessin B) ;
- dans l'espèce *Dendrocoelium laeteum*, il y a plusieurs cellules présentant des prolongements importants (Fig.4, dessin C).

Dans ces systèmes oculaires, cependant, l'œil primitif ou ocelle n'est encore qu'une tache composée de quelques cellules et nous sommes, semble-t-il, bien loin encore de l'œil camérulaire des Vertébrés dont nous avons sommairement rappelé l'anatomie. Pour comprendre la formation de cet organe et ses étapes, reprenons le dessin VI de la figure 3, correspondant à l'œil de la sangsue *Hirudo medicinalis* et comparons-le avec des structures que l'on peut voir chez des Mollusques Prosobranches, groupe évidemment plus évolué que les *Hirudo* mais qui se trouve dans la lignée des Protosmia (Fig.5). Cette figure montre différentes formes d'yeux apparaissant dans plusieurs espèces de groupes zoologiques souvent voisins et semblant correspondre à la suite du schéma des *Hirudo*. L'œil qui paraît le plus primitif ressemble très curieusement à celui des *Hirudo*, mais il est ouvert et ses cellules constituent une sorte de coupe. Puis on observe une série d'yeux dans lesquels on voit apparaître un liquide translucide que l'on appellera, par comparaison, humeur vitrée. Ensuite, la coupe se referme comme pour mieux contenir cette humeur vitrée ; et, enfin, on voit apparaître une espèce qui a un véritable cristallin. Nous avons ainsi quelques images de l'histoire de l'œil camérulaire.

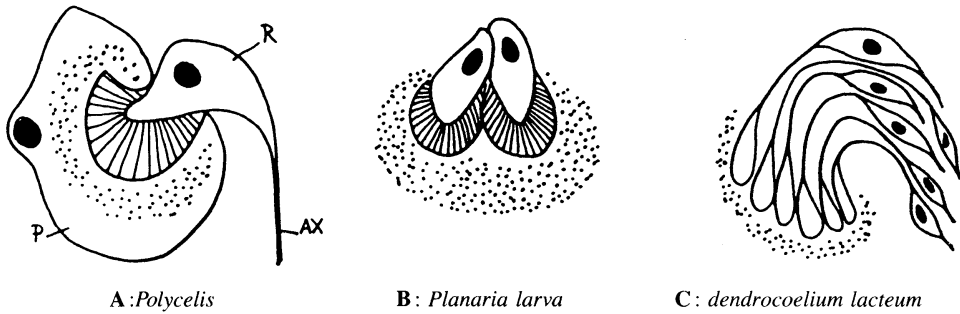


Figure 4 — Ocelles de Métazoaires primitifs

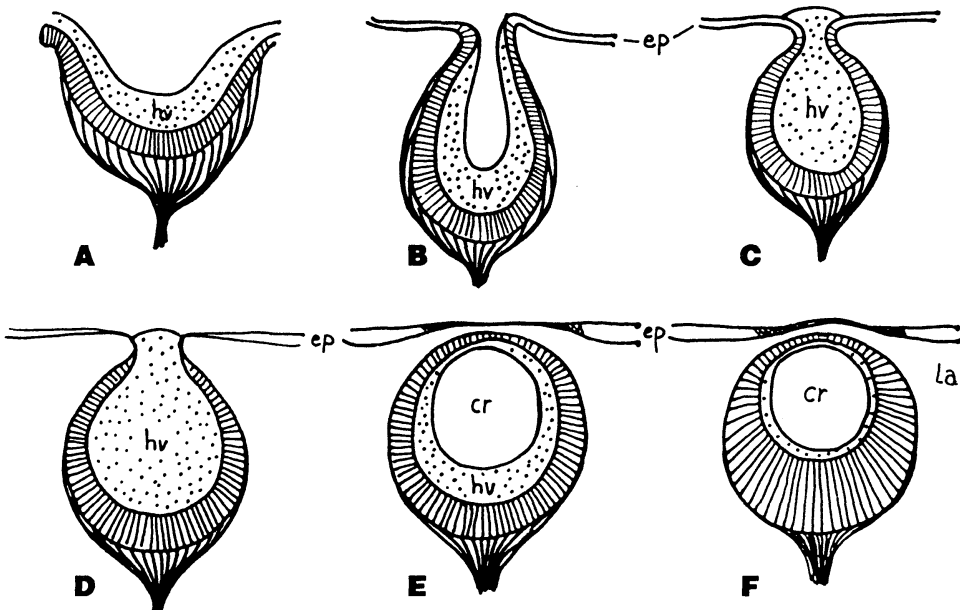


Figure 5 — Séquence de différenciation morphologique de l'œil observée dans une série d'espèces de Mollusques Prosobranches

hv = humeur vitreuse

ep = épiderme ou cornée

la = lacune

cr = cristallin

(D'après: *Evolutionary Biology*, volume X, p. 237; Plenum éd.).

Il faut préciser que des systèmes d'yeux à cristallin se retrouvent dans plusieurs groupes zoologiques. On sait que Bergson, intrigué par leur présence chez la seiche et chez les vertébrés, avait pensé que le hasard aurait pu, *une fois*, faire un œil à cristallin mais qu'il était impensable qu'il ait refait deux fois le même système. Bergson en avait conclu qu'il existait un « élan vital » qui pouvait inventer plusieurs fois les mêmes structures. L'affaire est à la fois plus simple et plus complexe que ne l'avait imaginée l'illustre philosophe. Le système oculaire à cristallin n'est pas apparu seulement deux fois mais probablement plusieurs fois dans la phylogénèse des vertébrés, des mollusques, des crustacés, des insectes, et nous l'avons même vu chez des pro-

tozoaires. Cependant, à partir du moment où l'on admet que des organisateurs embryonnaires peuvent rendre transparents certains tissus situés à leur contact, et où l'on a de bonnes raisons de penser que ce sont des cellules de la rétine sensibles à la lumière qui induisent cette transparence, on ne voit pas pourquoi des structures transparentes ne se seraient pas construites plusieurs fois en face de cellules de type rétinien. Dans cette optique, ce phénomène serait inscrit dans la « nature des choses » et ferait partie du système des structures vivantes. Il est même possible que ce soit des gènes homologues qui l'aient, chaque fois, provoqué dans la série des vivants (le fait que ce ne soit pas les mêmes tissus qui subissent ces transformations nous paraît sans importance pour des raisons que nous avons expliquées dans un autre article). La « cristallinisation » devient alors un phénomène classique, issu des systèmes de lois qui gouvernent la matière vivante, et entre dans le cadre de ses propriétés.

Dans ces comparaisons zoologiques, il convient de préciser trois points.

— Nous insistons d'abord sur le fait que nous examinons ici des formes vivantes actuelles : nous faisons donc une étude en synchronie, et nous estimons que ce que nous voyons en synchronie donne une image de ce qui a dû se passer en diachronie.

— Nous ne prétendons pas reconnaître des séquences complètes, ce qui serait trop beau ! Ainsi, dans le cas de l'œil, il nous manque des images qui pourraient nous montrer l'origine du cristallin.

— Nous n'ignorons évidemment pas qu'il n'y a jamais de comparaisons parfaites entre les images que nous montre la nature et le type d'œil — en l'occurrence l'œil des Vertébrés supérieurs — dont nous voulons essayer de comprendre l'histoire, à partir de données fournies par l'étude des vivants actuels. Nous estimons simplement que les comparaisons entre ces schémas sont assez semblables pour être valables du point de vue de la compréhension de l'histoire de cet organe dans le passé.

On reconnaîtra alors que, dans ces schémas, les étapes de ces constructions fournissent des images qui ressemblent absolument à ce qui aurait dû se passer si l'histoire de l'œil s'était produite par un jeu de mutations, constructrices ou destructrices et triées par la sélection.

Notons, d'autre part, qu'en analysant les divers types oculaires du monde vivant, alors que nous n'avons essayé de suivre ici que la progression des yeux camérulaires, nous trouverions toute une série d'autres yeux possibles. En particulier, nous retrouverions les images en directions buissonnantes que nous avons évoquées plus haut.

4. L'œil et le cerveau

Bien que, pour montrer comment on pouvait interpréter la nature en termes de lois et de hasard, nous ayons choisi comme exemple l'organe reconnu comme un des plus complexes — l'œil — un problème très important demeure.

Comme nous l'avons évoqué au début de ces pages, pour qu'un œil fonctionne, il faut que le système nerveux qui reçoit l'énergie lumineuse soit apte à la saisir et à l'interpréter. L'œil n'est qu'un récepteur, un miroir ; c'est le système nerveux qui, au bout du compte, interprète les images. Ceci complique sérieusement l'histoire des

étapes de la construction de l'œil. Dans les pages qui précèdent, nous avons décrit par analogie l'histoire *possible* de l'œil des Vertébrés mais, pour être complète, cette histoire devrait comprendre aussi l'histoire de l'accroissement corrélatif des régions optiques du cerveau. En somme, pour que l'œil améliore ses possibilités en accroissant ou en améliorant ses cellules, il faut aussi que les cellules cérébrales des régions optiques suivent l'amélioration oculaire : si elles ne suivaient pas, l'accroissement oculaire n'aurait aucun effet. On dit que l'œil et le système nerveux sont des organes coaptés car, pour qu'ils fonctionnent, ils doivent en quelque sorte « s'engrener » l'un l'autre.

Ce problème a été, depuis près d'un siècle, la source des plus grandes discussions. On a cru pendant longtemps que, pour qu'une transformation (appelons-la « mutation ») dédoublant, par exemple, la cellule rétinienne puisse améliorer la vision, il fallait que, dans le cerveau, les cellules réceptrices de la sensibilité oculaire soient aussi dédoublées. Alors, disait-on, il est impossible qu'une mutation dédouble « en même temps » la cellule oculaire et la cellule nerveuse ou, du moins, modifie l'une et l'autre de façon telle que l'amélioration de l'une puisse être utilisée grâce à une amélioration de l'autre ; dans ce cas, un tel hasard serait si rare que, s'il était nécessaire pour la marche de l'évolution, on ne pourrait pas expliquer les faits évolutifs par une théorie mutation/sélection. Ce ne serait plus, en effet, un simple hasard mais un hyper-hasard.

On éliminait ainsi toute idée que l'évolution puisse se réaliser par petites mutations et l'on pensait qu'il fallait des mutations très complexes améliorant à la fois plusieurs organes coaptés pour que l'évolution avance. Or, comme ces mutations correspondaient à des hasards impossibles, on fut amené à penser qu'il existait des forces coordinatrices de l'évolution capables d'assurer la programmation nécessaire pour la réalisation de tels phénomènes. Les biologistes adoptèrent alors diverses formes de finalisme. Dans ce type de réflexion, où l'on croyait nécessaire l'existence de grandes mutations et où l'on croyait trop à la rigidité de la nature, on oubliait la souplesse de la matière vivante et la capacité que possède tout être vivant d'améliorer ses « scores » sans subir une transformation anatomique due à l'hérédité.

Un homme qui, par hérédité, est né peu musclé et donc peu apte aux activités sportives pourra fort bien, à force d'exercice, améliorer sa musculature : il ne deviendra évidemment pas un champion olympique mais il pourra parvenir à un tonus correct.

De même, que se passe-t-il si une mutation dédouble une cellule oculaire rétinienne sans que ses cellules nerveuses soient touchées ? On peut admettre — ce n'est évidemment qu'une hypothèse, mais elle est certainement meilleure que toute autre — que cet homme aura une vision améliorée car son unique cellule nerveuse, en recevant davantage d'impressions lumineuses oculaires, développera son activité réceptrice exactement comme le sportif développe ses muscles sous l'effet de l'exercice.

Dans la théorie simple qui voulait que deux mutations soient néanmoins nécessaires pour que tout marche mieux, on avait oublié la capacité d'adaptation de chaque partie des êtres vivants. L'être vivant, ainsi amélioré par une première mutation, pourra attendre qu'une deuxième mutation accroisse les capacités de son système cérébral pour que le nouveau système soit, lui aussi, amélioré génétiquement. L'apparition de

mutations favorables en divers organes, apportant chacune une petite amélioration à divers appareils mais permettant d'attendre que les organes coaptés à ces appareils soient à leur tour atteints d'une mutation favorable, devient, sur le plan des faits de hasard, tout à fait possible. Ce système d'amélioration en échelle de perroquet rentre dans les limites du temps qu'offre la nature.

En analysant plus haut le problème général relatif au hasard, nous avons évoqué les discussions suscitées par l'exemple du singe dactylographe qui n'aurait jamais pu écrire un poème en tapant au hasard sur une machine à écrire. Ce hasard serait statistiquement impossible, même s'il existait autant de singes dactylographes qu'il existe d'atomes dans l'univers. Nous avons indiqué que, par contre, ce hasard devenait tout à fait possible si, chaque fois qu'une lettre tombe à sa place, elle y reste, de sorte que, d'étape en étape, le singe n'a plus qu'à taper jusqu'à ce qu'il ait placé toutes les lettres manquantes.

C'est grâce à un système ressemblant à celui de cet exemple imaginaire et évidemment imparfait, comme toute comparaison, que l'être vivant peut intégrer des mutations favorables apparues dans le désordre par une série de hasards successifs, tantôt sur la cellule optique de la rétine, tantôt sur la cellule cérébrale assurant le fonctionnement de cette cellule optique.

Dans ce cas, encore, le biologiste pourra marquer son étonnement devant le fait que la nature ait pu créer des systèmes capables d'aboutir ainsi, par petites étapes, à la constitution des organes les plus complexes. Mais, chez le biologiste, cet étonnement correspond à une réflexion philosophique, alors que, dans ce texte, nous étudions les lois du système : nous restons dans le domaine des sciences.

Il y a encore un dernier problème. Certains objectent qu'il est aussi très étonnant que tant d'appareils se soient construits *en même temps* au cours de l'histoire des Vertébrés : cerveau, œil, oreille, système immunitaire qui assure l'identité de l'être, etc. Au moment de l'hominisation, par exemple, on a vu, dans un lot de Simiens, se réaliser *en même temps* la marche bipède, la croissance du cerveau, la régression de la mâchoire, le développement de la main, etc. Dans certains écosystèmes, on voit se transformer *en même temps*, dans un même type adaptatif, plusieurs types d'espèces : la fleur s'adapte à l'abeille et l'abeille s'adapte à la fleur. Tout ceci est si étonnant que l'on a peine à croire que tout a pu marcher dans un même courant. C'est encore parce que l'on a oublié le nombre de vivants qui survivent par rapport au nombre de tous ceux qui naissent, et parce que l'on a oublié que tous les organes pouvaient suivre en même temps leur propre type d'adaptation.

Rappelons que, chez la Grenouille des Alpes, pour 40 000 œufs pondus, deux seulement, en moyenne, arrivent à l'âge adulte. Au Canada, dans une région d'étangs supposée de 1 000 kilomètres de côté (c'est-à-dire une surface représentant environ moins de $\frac{1}{10^6}$ du pays), il y a certainement en moyenne 1 grenouille au mètre carré, soit un total de 1 000 000 000 000 de grenouilles. Si chacune pond 1 000 œufs par an, et ceci depuis un million d'années, on arrive à 10^{21} pour le nombre d'œufs pondus. Un million d'années représente un chiffre peu important à la mesure du temps géologique : on considère que l'homme a trois millions d'années ! Les poissons ont à leur

disposition beaucoup plus de place que les grenouilles car ils peuvent utiliser toute la hauteur des fonds marins : pour eux, le chiffre de 1 000 œufs par sujet est certainement inférieur à la réalité, etc.

Nous ne pouvons pas analyser plus longuement cette question dans ce texte. Dans un travail en voie de publication, nous avons essayé de bâtir des modèles évidemment très approximatifs, suggérant qu'en tenant compte du nombre fabuleux des sujets de chaque espèce et du nombre important des mutations qui se produisent à la méiose pour chaque génome, soit en moyenne une pour 100 000 loci, avec une valeur sélective même très faible, l'évolution a pu se réaliser et même parfois aller très vite, ce qui d'ailleurs correspond à certaines images que nous donne la nature et nous en fait comprendre toutes les possibilités.

Quant au fait que tout s'adapte en même temps dans une série évolutive, il suffit pour le comprendre de se rappeler que, lorsqu'une pierre aux angles vifs tombe dans un torrent de montagne, les bouillonnements de l'eau n'arrondiront pas ses angles vifs l'un après l'autre mais les useront tous ensemble peu à peu, ce qui fait qu'après un certain nombre de décennies, la pierre sera devenue un galet rond. Cette comparaison, comme toute comparaison, n'est pas parfaite car, dans une immense population, les caractères nouveaux apparaissent en différentes zones de la population et ne se réunissent (ou s'additionnent ?) qu'à l'occasion d'hybridations.

Il en est de même des êtres vivants : de millions d'années en millions d'années, ils se sont modifiés en même temps pour tous leurs caractères car tous ces caractères sont plus ou moins coaptés ; comme le caillou du torrent, ils sont devenus adaptés de tous les côtés à la fois.

Ici encore, ce qui est curieux, ce n'est pas que le hasard ait pu provoquer par étapes la formation d'organes complexes, c'est le fait que la matière vivante soit capable, grâce à la souplesse d'adaptation de son phénotype et aux modifications lentes de son génotype, de réaliser de telles constructions ; mais cette forme d'étonnement ne relève plus alors de la biologie ; elle n'appartient pas à la science qui doit seulement s'efforcer de retrouver les mécanismes qui aboutissent à l'existence des choses. Nous allons donc essayer d'analyser ce nouveau problème dans la quatrième partie de ce travail.

IV. SCIENCE ET MÉTAPHYSIQUE

Une lecture rapide des pages qui précèdent pourrait laisser penser que notre position rejoint celles des auteurs qui croyaient pouvoir donner de toute la nature une immense explication uniquement scientifique. En fait, nous en différons totalement sur un point capital : nous estimons qu'il existe une approche de la réflexion qui n'appartient pas à la science mais à la métaphysique.

Nous avons rappelé plus haut le but de la science. Nous devons maintenant attirer l'attention sur le fait que, pour nous, il y a, dans toute analyse d'ensemble de la nature et du cosmos, deux niveaux de questions : un savoir et des questions scientifiques, une réflexion et des questions philosophiques. Même s'il était « démontré » un jour que

cet univers a toujours existé, on pourrait toujours se demander s'il a une « cause d'être ». On pourra toujours se poser la question: pourquoi existe-t-il ?

Par opposition à la définition de la science que nous avons donnée précédemment, nous définissons la métaphysique comme la *discipline qui étudie les problèmes dans leur globalité et dans leur interdépendance*.

Il est bien évident que cette discipline — et les réponses qu'elle tente de donner aux problèmes qu'elle pose — ne se basent pas sur des faits mesurables, susceptibles d'être expérimentés et testés comme les faits scientifiques. Mais contrairement à ce que croient certains, elle recherche des réponses fondées sur des arguments spécifiques et sur un raisonnement cohérent.

Depuis que le phénomène de l'évolution biologique a été reconnu comme une quasi-certitude, nombre d'auteurs ont tellement admiré les prouesses de la vie (telle que la capacité de faire apparaître des zones transparentes au niveau des « fenêtres » par où doit passer la lumière) qu'ils ont eu tendance à conclure que le système de constructions évolutives avait été dirigé, poussé par des forces auxquelles ils ont donné des noms divers : entéléchie, anti-hasard, élan vital, orthogenèse, etc. On pense évidemment, par exemple, à Bergson, à Cuénot, à certains textes de Teilhard de Chardin¹² ; nous pourrions appeler ces auteurs « néo-finalistes ».

En fait, leurs conceptions manifestent une certaine confusion des domaines. L'un des buts de cet article était de montrer que nous n'avions plus aucune raison de reconnaître l'existence de ces forces mystérieuses. L'erreur de ces auteurs n'est pas d'avoir cru en l'existence de questions métaphysiques mais de n'avoir pas su situer le problème au bon niveau. Les positions des néo-finalistes outrepassent les frontières de la science ; les disciples qui adoptent leurs thèses, et parfois s'y « cramponnent » avec des arguments naïfs qu'ils prétendent scientifiques, devraient réfléchir au fait qu'ils passent à juste titre, aux yeux des hommes de science, pour des esprits peu rigoureux dont les discours relèvent du confusionnisme. Ces thèses sont soutenues souvent dans de petits groupes dits « groupes de travail » et parfois même, pompeusement, « groupes de recherche ». On essaye d'y montrer que la réflexion chrétienne doit parachever un modèle scientifique incomplet : elle serait, en somme, le sommet d'une pyramide dont la base seule appartiendrait à la science. Au lieu d'apporter des arguments aux positions spiritualistes qu'elles prétendent soutenir, elles les ridiculisent. Nous n'hésitons pas à dire que, depuis cinquante ans ou plus, ces naïvetés ont porté beaucoup de tort aux Églises chrétiennes dans certains milieux scientifiques.

Toutes proportions gardées, ces attitudes ressemblent à celles de certains anti-évolutionnistes qui aujourd'hui encore — avec les meilleures intentions mais aussi avec une incompétence notoire — essayent de démontrer, pour soutenir leurs conceptions religieuses, que le phénomène d'évolution est une illusion.

Certains scientifiques et philosophes ont suggéré que le monde est entièrement déterminé et a été voulu tel par une puissance créatrice. Ils supposent que, si le monde

12. On oublie parfois que, dans d'autres textes, le Père Teilhard de Chardin a pris des positions qui ressemblent plutôt à celles que nous citons ici. Il convient de le rappeler.

a eu un commencement, son créateur a manifesté son vouloir de création en un temps T et le maintient depuis, tandis que, si le monde est éternel, cette intelligence créatrice a manifesté son vouloir depuis toujours. Dans cette optique, l'homme de science devra se donner pour devoir de rechercher les lois du fonctionnement de cet univers. Dans cette optique encore, la science est totalement indépendante de la métaphysique. Le sommet de la pyramide, comme sa base, appartiennent à la science : c'est la pyramide dans sa globalité qui pose un problème. Cette position fait évidemment appel au déterminisme laplacien en tenant parfaitement compte du fait que, grâce aux théories physiques de ce dernier demi-siècle, ce déterminisme a été sérieusement amendé. Dans ce système de pensée, l'homme de science peut travailler dans son laboratoire en dehors de toute arrière-pensée philosophique. Nous connaissons cette thèse par des conversations avec des collègues. À notre connaissance, elle n'a fait l'objet de publications qu'au XIX^e siècle, mais elle est encore souvent admise de nos jours.

L'image du hasard et des possibilités qui paraissent exister dans la nature nous amène à une conception assez différente sur laquelle nous allons essayer de nous expliquer mais qui rend, elle aussi, l'homme de science dans son laboratoire complètement indépendant de toute considération philosophique.

On a évidemment compris qu'après avoir admis que le système des mutations — dues au hasard et sélectionnées — explique parfaitement l'histoire de la vie sur la terre, nous nous étonnons qu'un tel système existe. En somme, après avoir ramené toute l'histoire de la vie aux lois et aux propriétés de la matière, nous nous étonnons de la richesse de ces lois et des possibilités qu'elles recèlent.

De cet étonnement, nous trouvons une expression bien esquissée chez l'un des principaux spécialistes de la théorie synthétique, le biologiste français L'Héritier. Voici quelques extraits de la conclusion d'un de ses ouvrages :

Qu'une accumulation de mutations génétiques aveugles, soumises dans les populations à un continuuel et complexe brassage, ait pu conduire, au terme d'une gigantesque suite d'essais heureux ou malheureux, à révéler les potentialités les plus élevées de la matière vivante, donc à donner l'impression d'un progrès, ne semble pas, en définitive, si difficile à concevoir¹³.

Et plus loin, il écrit encore :

La sélection n'a en somme rien créé, mais n'a fait que choisir parmi l'infinité des possibles, la chaîne ramifiée des êtres, qui effectivement se sont réalisés. Que ce soit elle qui ait guidé cette chaîne le long d'une marche qui, avec bien des erreurs et des imperfections, est manifestement ascendante, n'est pas en soi tellement surprenant. Ce qui l'est beaucoup plus, c'est que la matière vivante ait possédé en puissance ces étonnantes possibilités, ce merveilleux pouvoir d'intégration, dont notre conscience individuelle humaine nous fait percevoir la plus complexe des réalisations actuelles. Mais cela, la Science ne peut que l'enregistrer, comme elle enregistre au niveau infravivant, l'aptitude de la matière à former les édifices de plus en plus complexes, que sont les atomes et les molécules¹⁴.

13. P. L'HÉRITIER, *Traité de génétique. II. La génétique des populations*, Paris, P.U.F., 1954, p. 513.

14. *Ibid.*, p. 514.

On a compris que ce qui pose alors problème, c'est la capacité de la nature de faire des êtres vivants et, qui plus est, des êtres pensants capables de se poser des questions sur eux-mêmes. Pour expliquer logiquement le pourquoi de ce phénomène, on peut penser par simple réflexion sur la logique des choses qu'une matière capable de « faire » de l'intelligence ne peut être produite que par le *vouloir* d'une intelligence interne ou externe à elle-même.

Il convient alors d'étudier plus précisément les mots « possible » et « possibilités » tels que L'Héritier les entend.

Nous dirons d'abord qu'il était dans les possibilités des atomes qui composaient l'univers primitif de donner la vie. Un certain nombre de combinaisons rendait la vie possible ; ces combinaisons s'étant réalisées par hasard, la vie est apparue et a évolué, par les étapes que l'on connaît, du procaryote au cerveau humain. Ces remarques n'impliquent pas que ces combinaisons « tendaient » à la vie. Le biologiste ne voit aucun fait susceptible de lui démontrer que la matière devait nécessairement aboutir au système vivant et à la pensée. Si une telle tendance existait, on aurait des images de phylogenèse qui donneraient l'impression d'une force directionnelle. Il n'y a rien de tout cela ; on ne peut pas dire, comme certains l'on fait, que la vie était « en attente ». Le biologiste ne voit aucune image suggérant une poussée directrice, aucune image suggérant que, dans son histoire, la matière ait été entraînée dans une certaine direction. Le mot possible a donc trois sens :

— en négatif, il s'oppose à impossible : ce n'était pas impossible puisque cela s'est produit ;

— en négatif encore, il s'oppose à nécessaire : nous n'avons aucune raison de penser que c'était nécessaire : cela s'est produit grâce à un fabuleux jeu de hasard sur notre planète, peut-être sur d'autres ... nous l'ignorons ; mais cela n'était pas nécessaire, cela aurait pu ne pas se produire ;

— en positif, et dans notre problématique, le mot « possible » possède un sens technique. Il signifie que la vie et l'évolution tout entière étaient possibles grâce aux propriétés de la matière. Il faut rappeler ici la relation entre lois et propriétés. On pourrait dire, dans une sorte de comparaison banale, qu'il était « techniquement » possible que la matière constitue des êtres vivants comme il est actuellement techniquement possible de fabriquer, avec des chaînes de carbone, diverses matières plastiques. Jusqu'ici les matières plastiques n'ont été fabriquées que grâce aux travaux des chimistes. Il n'est pas impossible qu'un jour il s'en construise, sur une des planètes de l'univers, comme sur la terre se sont réalisés des êtres vivants. Ces possibilités ressemblent, en somme, à celles qu'offrirait un jeu de mécano dont les pièces, par des systèmes d'attraction, pourraient construire des éléments divers sans l'intervention d'un homme. En chimie, le fer laissé à l'air libre donne, dans certains cas, de l'oxyde de fer ; une structure complexifiée se construit alors d'elle-même.

Que l'on ne s'y trompe pas, il y a dans la matière chimique d'immenses possibilités qu'il appartient à la science de découvrir. À la suite de ces explorations, les chimistes et les biologistes réaliseront demain les structures les plus étonnantes et les plus étranges ; il n'est pas douteux qu'ils fabriqueront des vivants analogues à ceux que

nous connaissons actuellement, et même des formes vivantes nouvelles. En transformant ce qui existe, ils ont déjà commencé à réaliser des structures correspondant aux produits dont les hommes ont besoin. Les siècles à venir permettront bien plus encore.

C'est à cause de cet immense réseau de possibilités que l'on commence seulement à explorer que les auteurs de science-fiction peuvent s'en donner à cœur joie en imaginant sur d'autres planètes l'existence d'êtres des plus étranges, tels que des hommes dotés d'ordinateurs intégrés ou de systèmes de compréhension plus rapides que les nôtres. Nous verrons très probablement un jour plus étonnant encore que ce que nous décrit la science-fiction d'aujourd'hui, exactement comme la génération de nos pères qui lisaient Jules Verne avec passion vit se réaliser bien plus fantastique encore que ne l'avait imaginé l'illustre romancier. Le champ des possibles est probablement un immense domaine qu'il appartient à la science de découvrir. Le hasard explique tout, mais n'expliquerait rien s'il n'y avait pas ces « possibles » dont nous venons d'évoquer l'insondable richesse au sein de la matière vivante.

Si l'œil s'est constitué avec ses milliers de cellules, avec sa couche de pigments qui réagissent à la lumière, avec ses cellules rétinienne qui influencent les cellules nerveuses correspondantes et nous donnent conscience de voir, c'est parce qu'il était dans les possibilités de la matière de constituer ces structures, infiniment plus complexes d'ailleurs que les plus complexes des produits de synthèse que les hommes ont été capables de fabriquer jusqu'à ce jour. Et pourtant c'est bien le hasard des mutations qui a déclenché la mise en place des diverses pièces de cet organe.

Le hasard n'explique que ce qui était possible, c'est-à-dire les processus suivant lesquels les lois du cosmos ont fabriqué la vie. Le hasard n'apporte aucune réponse à la grande question : pourquoi tout ceci était-il en possibilité ? On comprend, en somme, que l'homme de science cherche à décrire la matière vivante et à en connaître les possibilités, tandis que le métaphysicien, se posant des questions globales, cherche à en dégager les enjeux et le sens.

Que l'on ne s'y trompe pas, du reste ; cette position totalement réductionniste et qui explique toute l'histoire de la vie sur la terre par les possibilités de la matière ne simplifie nullement les problèmes. On peut même penser qu'elle les complique.